Neuer Schauplatz
der
Künste und Handwerke.

Mit
Berücksichtigung der neuesten Erfindungen.

Herausgegeben
von
einer Gesellschaft von Künstlern, technischen Schriftstellern und Fachgenossen.

Mit vielen Abbildungen.

1812

Zweihundertsechsundachtzigster Band.

Neumann, hydraulische Motoren.

Weimar, 1868.
Bernhard Friedrich Voigt.

Hydraulische Motoren.

Bau und Anlage

der wichtigsten vom Wasser getriebenen Maschinen, dargestellt durch Zeichnungen mit Beschreibung und Berechnung von

Turbinen,

Wasserrädern und Wassersäulenmaschinen.

Mit Rücksicht auf Terrainverhältnisse
für Fabriken, Mühlen, Berg- und Hüttenwerke.

Nebst einem Nachweis der bezüglichen Literatur, einem Verzeichnisse der vorkommenden technischen Ausdrücke in deutscher, französischer und englischer Sprache, sowie Tabellen

bearbeitet und herausgegeben

von

Friedrich Neumann,
Civil-Ingenieur in Halle an der Saale.

Mit 25 eingedruckten Holzschnitten und einem Atlas, enthaltend 26 Folio-Tafeln.

Weimar, 1868.
Bernhard Friedrich Voigt.

Vorwort.

Wasserräder, Turbinen und Wassersäulenmaschinen, diese drei Arten hydraulischer Motoren sind mit Zugrundelegung ausgeführter Anlagen in der ersten Abtheilung dieses Buches eingehend beschrieben und im Atlas genau gezeichnet, in der zweiten Abtheilung ist die Berechnung dieser Motoren durchgeführt, so weit es für das praktische Bedürfniß erforderlich; d. h. es wurde das berechnet, was zu berechnen vortheilhaft, diejenigen Koefficienten dagegen, welche richtiger zu messen als zu berechnen sind, wurden auf Grund bekannter Erfahrungsresultate angenommen. —

Die erste Abtheilung lehrt nicht blos die Motoren kennen, sie giebt auch diejenigen Dimensionen der einzelnen Theile, welche gewählt werden müssen, wenn die Ausführung eine zweckmäßige sein soll; in der zweiten Abtheilung findet sich die Begründung der einzelnen Konstruktionen näher entwickelt und die Wirkungsweise des Wassers in den Motoren veranschaulicht. — Es ist durchweg nur die Kenntniß elementarer Mathematik vorausgesetzt, die Hinzuziehung der graphischen Darstellung, welche eine ausgedehntere Anwendung, als sonst üblich, gefunden hat, wird das Verständniß wesentlich erleichtern. —

Bei der Schwierigkeit, welche die Erlangung guter Zeichnungen von ausgeführten Anlagen macht, hält sich der Verfasser verpflichtet, für die Bereitwilligkeit derjenigen Herren zu danken, deren Beiträge dem Buche förderlich geworden sind. Indem es sich der Verfasser zur

Ehre anrechnet, solche Rücksicht bei den „hydraulischen Motoren", wie schon früher bei dem „Mahlmühlenbetrieb" und der „Ziegelfabrikation" gefunden zu haben, darf er sich aber wohl die Bitte erlauben, daß Andere bei Hinweisung auf diese Originalmittheilungen oder einer schicklichen Verwendung derselben künftig auch gefälligst die Bücher des Verfassers angeben mögen, wo die Sachen vollständig und zuerst beschrieben wie abgebildet wurden. —

Die Verlagshandlung gab dem Buche eine gefällige Ausstattung mit Atlas, bei welchem auch die lithographische Herstellung der Tafeln recht sorgfältig geschehen ist. —

Eine Motivirung der Einzelheiten bei der Beschreibung wie bei der Berechnung der hydraulischen Motoren unterläßt der Verfasser, da er mit Ruhe dem Urtheile des wohlwollenden Lesers entgegensehen kann.

Halle an d. S. im März 1868.

Friedrich Neumann.

Inhalts-Verzeichniß.

Seite

Drittes Kapitel.

Viertes Kapitel.

Zweite Abtheilung.

Berechnung der hydraulischen Motoren.

Fünftes Kapitel.

Sechstes Kapitel.

Siebentes Kapitel.

Achtes Kapitel.

*

Dritte Abtheilung.

Einleitung.

§. 1.

Arbeitsmoment des fließenden Wassers.

Die Arbeit, welche ein fließendes Wasser durch seine lebendige Kraft verrichten kann, ist bei der Geschwindigkeit v in der Zeiteinheit, (der Sekunde), der Wassermenge Q deren Kubikeinheit das Gewicht γ hat, pro Sekunde

$$L = \frac{v^2}{2\,g} \cdot Q \cdot \gamma.$$

Da $H = \frac{v^2}{2\,g}$, so ist die Arbeit L, welche eine Wassermenge Q bei Benutzung des Gefälles H verrichten kann:

$$L = Q \cdot \gamma \cdot H.$$

Wenn preußische Fuße und Zollpfunde als Maße angenommen werden und als Zeiteinheit die Sekunde, so erhält man die Leistung L in Fußpfunden, bei Meter und in Kilogrammen dagegen in Kilogrammmetern pro Sekunde. —

Da nun die Arbeit einer Pferdestärke durch 480 Fußpfunde, respect. 75 Kilogrammmeter pro Sekunde ausgedrückt wird, so geben die Quotienten

$$\frac{L}{480}, \text{ resp. } \frac{L}{75} = Na$$

das (absolute) Arbeitsmoment der Wasserkräfte in Pferdestärken.

Das Wasser der Bäche, Flüsse und Teiche muß fast immer in besonderen Wasserleitungen den vom Wasser getriebenen Maschinen zugeführt werden; zu diesem Zwecke werden an den geeigneten Stellen Wehre und Dämme angelegt, welche das Wasser in dem natürlichen Flußbette zurückhalten, aufstauen, und dafür nach den Wasserleitungen führen. Dieselben heißen Kanäle, Gräben, Gerinne,

Röhrenleitungen, je nach ihrer Größe und Form, sowie dem Material, mit welchem sie hergestellt sind. — Diese, sowie die erst angeführten Bauten, faßt man auch wohl unter den gemeinschaftlichen Namen Grundwerke zusammen. —

§. 2.

Anlage und Leistung der hydraulischen Motoren im Allgemeinen.

Die Kraft des Wassers kann sowohl nutzbar gemacht werden, daß dasselbe eine Maschine mit rotirender Bewegung treibt, Radmaschine, als auch eine solche mit hin- und hergehender Bewegung, Kolbenmaschine. Diese Maschinen nennt man hydraulische Motoren, die der ersten Art sind die Wasserräder und Turbinen, die der zweiten Art die Wassersäulenmaschinen. Die Erfindung der Wasserräder ist in die frühesten Zeiten des Alterthums zurückzuverlegen, wenigstens bis in die egyptische Kulturepoche, obschon dieselben natürlich damals in der einfachsten Weise hergestellt wurden. —

Wahrscheinlich sind auch die einfachen Stoßturbinen älter, als gewöhnlich angenommen wird, wenn auch eine Beschreibung derselben nicht vor dem 16ten Jahrhundert zu finden ist und die Segner'sche Turbine erst 1774 in Göttingen. —

Die ersten Wassersäulenmaschinen sind beim Bergbau von den Deutschen Höll und Winterschmidt ziemlich gleichzeitig Mitte des vorigen Jahrhunderts angelegt worden zu Schemnitz in Ungarn und im Oberharze. — Nach Belidor soll eine ähnliche Maschine schon etwas früher in Frankreich konstruirt worden sein.

Zur Berechnung des an einen hydraulischen Motor abgegebenen Arbeitsmomentes hat man für γ im ersten Falle das Gewicht eines Kubikfußes Wasser = 61,74 Zollpfund, im zweiten Falle das Gewicht eines Kubikmeters = 1000 Kilogramm einzusetzen. Bezeichnet also

für preußisches Maß	für französisches Maß
Q die Wassermenge in Kubikfußen pro Sekunde,	Q die Wassermenge in Kubikmetern pro Sekunde,
H das Gefälle in Fußen,	H das Gefälle in Metern,

sowie

N_a das (absolute) Arbeitsmoment in Pferdestärke,

so ergeben sich die Formeln:

für preußisches Maß	für französisches Maß
1) $N_a = \frac{61,74}{480} \cdot QH$ $= 0,127 \cdot QH$ (annähernd $\frac{1}{8}$ QH)	1) $N_a = \frac{1000}{75} \cdot QH$ $= 13,333 \cdot QH$
2) $Q = 8 \cdot \frac{N_a}{H}$	2) $Q = 0,075 \cdot \frac{N_a}{H}$
3) $H = 8 \cdot \frac{N_a}{Q}$	3) $H = 0,075 \cdot \frac{N_a}{Q}$

Dieser absolute Effekt ist niemals in der Praxis durch einen hydraulischen Motor zu erreichen, auch bei der besten Anlage ist das nutzbare Arbeitsmoment oder der Nutzeffekt N_n in Pferdestärken nur ein Theil von N_a. Man erhält $N_n = \eta \cdot N_a$ oder $\eta = \frac{N_n}{N_a}$ und nennt η den Wirkungsgrad (oder Nutzeffekt), der je nach der Wahl des Motors, der Konstruktion und Ausführung von 0,20 bis 0,85 variirt. Dieser Wirkungsgrad η läßt sich niemals durch Rechnung, sondern immer nur durch Messen mittelst eines Dynamometers finden.

Aus der allgemeinen Formel $L = Q \gamma H$ ist übrigens zu ersehen und ein für allemal eindringlich hervorzuheben, daß Gefälle und Wasserquantum gleichen Antheil an der Leistung eines Motors haben; daß z. B. das dreifache Gefälle eben so gut als das dreifache Wasserquantum die Leistung drei mal so groß ergeben kann; daß also niemals einer der beiden Faktoren, Gefälle oder Wasserquantum, sondern immer nur das Produkt beider Faktoren entscheidend für den Werth einer Wasserkraft ist.

Um das Gefälle für ein Rad zu bestimmen, ist bei schon vorhandenen Anlagen in den meisten Fällen nur eine einfache Höhenabmessung zwischen Ober- und Unterwasserspiegel erforderlich. — Bei neu anzulegenden Wasserwerken ist Nivelliren nöthig. — Da man nämlich, wie schon gesagt, in den wenigsten Fällen in den natürlichen Bächen und Flüssen das Rad anbringen kann, so ist die Anlage eines Wassergrabens erforderlich. — Ober- wie Untergraben müssen ein bestimmtes Gefälle (oder Fall) bekommen, damit sich das Wasser mit der angemessenen Geschwindigkeit fortbewegt; durch Abzug dieser beiden Werthe von dem durch Nivellement gefundenen Totalgefälle erhält man dann das disponible Gefälle am Rade selbst.

Die Bestimmung der Wassermenge wird entweder durch Messen mit Gefäßen von bekanntem Inhalte (Aichmaße) ausgeführt, oder durch Ausflußöffnungen und Ueberfälle, auch durch Wassermesser oder Hydrometer festgestellt.

§. 3.

Wahl des Motors.

Die Wassersäulenmaschinen finden, gegenüber den Wasserrädern und Turbinen, bis jetzt nur eine seltene Anwendung, meistens sind dieselben bis jetzt in Bergwerken zum Pumpenbetrieb aufgestellt worden, obschon man auch bei solchen Maschinen die hin- und hergehende Kolbenbewegung in eine rotirende übergeführt hat. —

Wasserräder und Turbinen finden die ausgedehnteste Anwendung und es ist deshalb natürlich, daß schon viel darüber gestritten worden, ob ein Wasserrad oder eine Turbine den Vorzug verdient, und wird diese Frage später noch eingehender zu behandeln sein, da sie sich ohne Berücksichtigung aller Nebeneinflüsse, als Lokalverhältnisse, Zweck des Betriebes 2c. gar nicht entscheiden läßt; auch die Größe des disponiblen Baukapitals ist oftmals mehr maßgebend als es für

die Zweckmäßigkeit der Ausführung gut ist. — Man möge sich auch erinnern, daß bei Vergleichung der Turbinen mit Wasserrädern zuweilen nicht berücksichtigt worden, daß letztere alte, wenig gut ausgeführte Wasserräder waren.

Erfahrungsmäßig stellen wir folgende Skale auf, unter Berücksichtigung, daß Turbine wie Wasserrad gleich gut ausgeführt, und das Baukapital so groß ist, wie es für die Zweckmäßigkeit der Anlage erforderlich. — Bemerkt werde dabei, daß es ein Vorurtheil ist, wenn behauptet wird, eine Turbinenanlage ist theurer, als die eines Wasserrades, es kann auch oft das Umgekehrte der Fall sein.

Bei Gefällen

bis 2 Fuß je nach der Wassermenge ein Wasserrad oder eine Schraubenturbine mit horizontaler Welle;

von $2\frac{1}{2}$ bis 6, auch noch 8 Fuß, und ausreichendem Wasser ist eine Turbine stets am vortheilhaftesten;

bei 6, 8 bis 10 Gefälle ist es außer vom Wasserstande noch von der Transmission und den Arbeitsmaschinen abhängig, ob eine Turbine oder ein Wasserrad vortheilhafter ist;

bei 10 bis 25 Fuß Gefälle, und kleinen oder sehr veränderlichen Wassermengen, wird ein rückenschlägiges oder oberschlägiges Rad häufig der Turbine vorzuziehen sein, und nur in bestimmten Fällen wird die schnellere Umdrehungszahl der Turbine (resp. Tangentialrad) zu Gunsten derselben sprechen. — Bei großen Wassermengen, welche sehr breite Räder nothwendig machen, wird die Turbine den Vorzug verdienen.

Bei Gefällen über 25 Fuß sind oberschlägige Räder schwieriger auszuführen; sie fallen kostspielig oder wenig haltbar aus; dann wird stets eine Turbine (respekt. Tangentialrad) am besten sein.

Erste Abtheilung.

Beschreibung der hydraulischen Motoren.

Erstes Kapitel.

Die Grundwerke.

I. Wehre.

§. 4.

Anlage und Konstruktion im Allgemeinen.

Man unterscheidet zweierlei Konstruktionen:
1) Feste Wehre, Ueberfallwehre oder Streichwehre;
2) bewegliche Wehre, Schleusen- oder Durchlaßwehre. — Bei diesen letztern kann man durch die Stellung der Schützen die Stauung reguliren, während bei den erstern mit der Wassermenge die Aufstauung zunimmt. — Um diese nicht über eine bestimmte Höhe kommen zu lassen, legt man neben den festen Wehren auch wohl zuweilen noch Durchlässe oder Grundablässe an, welche dann wie die Schleusenwehre konstruirt werden. —

Die Anlagen der Ueberfall- oder Streichwehre sind nur auf solchen Strecken eines Flusses zu gebrauchen, wo man vorzüglich hohes Ufer findet, so daß man versichert ist, nicht so leicht Ueberschwemmungen befürchten zu müssen.

Schleusenwehre hingegen legt man bei einem Flusse in denjenigen Gegenden an, wo die Ufer niedrig sind und man bei einem schnell steigenden Wasser leicht eine Ueberschwemmung zu befürchten hat, damit man bei jedem anwachsenden Wasser die Schützen ziehen und dem überflüssigen Wasser den nöthigen Abzug gestatten könne.

Bei großen Flüssen und Strömen legt man auch wohl nur die sogenannten lichten Wehre an, dies sind Dämme, welche nicht über die ganze Breite des Flusses weggehen. —

Wo irgend thunlich legt man die festen Wehre oder Ueberfälle an und kommen dieselben deshalb am häufigsten vor. Man unterscheidet bei denselben noch die vollkommenen Wehre oder Ueber-

fälle von den **unvollkommenen** Wehren oder Grundwehren; die ersten sind diejenigen, deren Ueberfallkante oder Krone über der Oberfläche des Unterwassers liegt, wobei also ein freier Abfluß stattfindet, bei den letztern hingegen ist die Krone unter dem Niveau des abfließenden Wassers, es findet also zum Theil ein Rückstauen des Unterwassers statt. — Es ist bekannt, daß die vollkommenen Ueberfälle zeitweise bei Hochwasser in unvollkommene übergehen können. —

Bei der Errichtung eines Wehres ist zunächst zu ermitteln die die geeignete Stelle, sowie die Höhe des Wehres, welche letztere die Stauhöhe und Stauweite bedingt; ferner ist noch zu bemerken die Richtung des Wehres in Bezug auf den Stromstrich, welcher sowohl senkrecht als schief gegen diesen sein kann, die Länge und der Querschnitt des Wehres, sowie seine Befestigung mit dem Ufer und die Sicherung gegen Unterwaschung. — Im Grundrisse betrachtet kann ein Wehr nicht blos nach einer geraden Linie, sondern auch nach einer krummen oder gebrochenen Linie gebildet sein; die Länge ist meistens $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ größer als die Normalbreite des Flusses, das Querprofil ist abhängig davon, welches Material, ob Holz oder Stein, verwendet wird; um die nöthige Stabilität gegen den Wasserdruck zu erlangen, wird seine Breite wenigstens doppelt so groß als die Höhe genommen.

Die sogenannten **Wehraufsätze**, aus Balken oder eingesetzten Bretern gebildet, sind nur in seltenen Ausnahmefällen bei niedrigem Wasserstande zulässig, falls dadurch den oberhalb liegenden Gewerken kein Nachtheil zugefügt wird.

Das Recht zur Erbauung eines Wehres und dessen Höhe ist in den einzelnen Ländern durch besondere gesetzliche Bestimmungen geregelt; zur Sicherung, daß die zulässige Höhe nicht verändert wird, werden die sogenannten **Pegel** (Aichpfähle, Merkpfähle oder Haimstöcke) geschlagen. —

§. 5.

Hölzerne Ueberfallwehre.

Man legt dieselben mit 2 oder 3 Absätzen oder Abschußdecken an, die letztern an solchen Orten, wo das wilde oder sogenannte Abschlagswasser einen starken Fäll hat und Kessel an der Abschußdecke einwühlen könnte. —

Fig. 1, Taf. I, ist die Ansicht eines solchen Streichwehres mit 3 Abschußdecken, von der Stromseite aus, und es ist hier

h die Spundwand, auf welcher der Bau ruht, und

g die Grundschwelle. Bei dergleichen Wehren wird der Fachbaum nicht gleich auf die Grundschwelle gelegt, weil sonst die dabei vorkommenden Reparaturen vielen Schwierigkeiten unterworfen sein würden.

Man schlägt daher die Spundwand nicht höher, als die Sohle des Flusses, und legt auf dieselbe die vorgenannte Grundschwelle. Auf die Grundschwelle kommen nun die Eck- oder Flügelsäulen b b zu stehen, welche die ganze Höhe des Bauwerkes bestimmen und um 8 bis 10 Fuß, als soviel das Wehr sich in das beiderseitige Ufer einbinden

muß, im Sande liegen. eeeee sind die auf der Grundschwelle stehenden Wehrsäulen, auf welche, wenn die richtige Höhenlage des Fachbaums ausgemittelt ist, der letztere aufgelegt und in die Flügelsäulen bb dauerhaft eingezapft wird. Die Säulen bb, sowie auch die anderen Zwischensäulen eee, müssen ebenfalls gespundet und mit Zapfen versehen werden. Ebenso erhält auch der Fachbaum an seiner unteren Kante eine Nuth, mit welcher er auf die Zapfen der Säulen eeeee und auf die, an die Köpfe der Spundbohlen angearbeiteten Federn in Theer und Werg gelegt wird. Dann werden noch, damit kein Wasser hindurchdringen könne, vor der Spundwand bis unter dem Fachbaum gespundete Bohlen eingeschlagen, welche der Fachbaum f überdeckt. Der Fachbaum tritt mit doppelten Zapfen in die Säulen bb, dann werden die Säulen dd nach der Lichtweite des Wehres aufgesetzt und der zu beiden Seiten in das Ufer hineinreichende Theil des Wehres mit den beiden Flügelholmen aa verholmt. cc stellt den inneren Breterbeschlag oder die Seitenwände des Streichwehres vor, welcher aber dann erst angebracht wird, wenn die Abschußdecke ganz vollendet ist.

Fig. 2, Taf. I, ist das Längenprofil des vorbeschriebenen Wehres, und zwar nach ABC, **Fig. 4, Taf. I**; g die Grundschwelle mit der darunter befindlichen Spundwand (h, **Fig. 1**); e die Wand zwischen der Grundschwelle g und dem Fachbaume f; m sind die Grundschwellen der ersten Ausschußdeckenlage mit ihren Pfahlwänden; d sind die Säulen der Seitenwände, welche in die Schwellen eingezapft sind, mit ihrem Breterbeschlage, und a ist der Holm. Die Abschußdecke B und C haben mit ihrem Bolenbelage dieselbe Einrichtung, wie bei A. Jeder obere Bohlenbelag der Abschußdecke steht über dem nächst unteren um $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß über, und jeder nächst untere liegt etwas weniger schräg, so daß das Wasser auf der unteren Decke dann einen ruhigeren Fluß bekommt, weil dieselbe in einer ziemlich horizontalen oder waagerechten Lage sich befindet.

i ist der Brückensteg, quer über die Seitenwände der Abschußdecke, k sind die Säulen zum Geländer, l die Strebebänder.

Fig. 3, Taf. I, ist die vordere Ansicht der Abschußdecke C. — d die Säulen der Seitenwände, mit ihren Holmen a, welche die Säulen der Länge nach verbinden; d' die Strebebänder; o der Bohlenbelag; m die Grundschwelle mit der sich unter derselben befindenden Spundwand h'.

Eine solche Spundwand ist erforderlich, damit das herabschießende Wasser nicht durch seinen Fall und den etwaigen Rückstoß Löcher zu wühlen, einzukolken und die vordere Abschußdecke zu unterspülen und zu vernichten im Stande sei.

Wenn man befürchtet, daß sich die Seitenwände nicht allein halten möchten, können die Holme der Breite auch noch mit einem Ankerholme versehen werden, wie bei **Fig. 8.**

Fig. 4, Taf. I, ist der Grundriß des vorbeschriebenen Streichwehres, und zwar: f der Fachbaum nebst den Säulen d; m sind die Schwellen über den Pfahl- und Spundwänden; und A, B, C die Bohlenbeläge oder drei Abschußdecken.

§. 6.
Steinerne Ueberfallwehre.

Dieselben lassen sich in vielen Fällen zweckmäßiger herstellen als die hölzernen.

In **Fig. 5, Taf. 1,** bildet ein durchgehender Pfahlrost lauter Vierecke, welche mit kurzen Pfählen ausgeschlagen sind. Die vordere Herdschwelle hat eine Bohlenspundwand; die hintere wird noch durch davorgeschlagene Pfähle gehalten.

In **Fig. 6, Taf. 1,** ist das massive Wehr auf einen durchgehenden Pfahlrost gegründet. Bei gutem Baugrunde kann ein solches Wehr auch ohne Rost errichtet werden.

Fig. 7, Taf. 1, ist der Querschnitt des Wehres in der Thurr für die Fabrik von Stehlin zu Bitschwiller nächst Thaun (Elsaß) abgebildet *). Der Gebirgsstrom Thurr hat ein durchschnittliches Gefälle von beiläufig 0,008 Meter pro Meter, seine Wassermenge beträgt bei Hochgewässern 100 bis 160 Kubikmeter (3234 bis 5000 Kubikfuß) pro Sekunde. — Das hierbei angenommene Konstruktionssystem (1862 ausgeführt) scheint allen Bedingungen der Dichtigkeit, Festigkeit und der möglichsten Oekonomie zu entsprechen, ein früheres hölzernes Wehr wurde vom Wasser fortgerissen. —

Die Breite des Wehres konnte keine geringere sein, als 30 Meter (95,6 Fuß) und die herzustellende Fallhöhe mußte 2,5 Meter (7,965 Fuß) betragen. Da die benachbarten Gebirge einen Dioritstein liefern, so beschloß man den Wehrdamm aus diesem Materiale zu errichten, und zur größeren Wasserdichtigkeit einen Kern von Beton b nach seiner ganzen Länge anzulegen, das Ganze aber mit Schichten von Hausteinen c zu bekrönen, um bei niedrigem Wasser mittelst beweglicher Breter d die Wasserstandshöhe reguliren zu können. —

Alle Steine sind Blöcke von mindestens einem halben Kubikmeter (16 Kbf.), manche haben das Doppelte und mehr und man hat Sorge getragen zuerst 1 Meter tief auszugraben und diesen ganzen Raum mit Stein auszufüllen, der nun das Fundament a des Dammes bildet, welcher eine senkrechte Höhe von 2,75 Meter (8,76 Fuß) und eine Kronenbreite von 1,75 Meter (5,58 Fuß) hat. — Die das ganze Wehr durchlaufende Betonmasse b ist 0,50 Meter stark und reicht ebenfalls bis 1 Meter unter die Flußsohle; die Hausteine c, welche den Damm bedecken, haben die in der Zeichnung angegebenen Formen und Dimensionen. Aus besonderer Vorsicht wurden die Deckschichten mit Klammern verbunden; an der oberen Seite sind gewöhnliche Steinschüttungen vorgelegt und diese mit einer Betonschicht bedeckt, die mit der Hauptmasse verbunden ist, um auf diese Weise eine vollständige Wasserdichtigkeit des Wehrdammes zu erzielen. —

In einer Entfernung von 4 Meter von der untern Dammkante wurde eine Reihe Pfähle eingeschlagen und mit einem Holme bedeckt, so daß die Steine des Wehrdammes nicht ausweichen können, und

*) Förster's allgemeine Bauzeilung. Wien 1864.

dieser selbst in dem Falle unversehrt bleibt, wenn unterhalb der Pfahlreihe Auskolkungen der 8 Meter breiten Steinschicht erfolgen sollten; ein Fall, der aber wohl niemals eintreten dürfte. — Sollte dies aber dennoch einmal stattfinden, so sind die Steine zu schwer, um fortgerissen zu werden; sie würden in die ausgewaschenen Vertiefungen fallen, und beim nächsten niedrigen Wasserstande könnte man die gesenkten Stellen mit neuen Steinen bedecken. —

Alle diese Anordnungen hatten bisher den günstigsten Erfolg und es ist zu bemerken, daß nicht die geringste Feuchtigkeit durch den Damm dringt. —

Da die Anwendung von so großen Steinen bei gewöhnlichen Vorrichtungen mit einigen Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre, so hatte man, wie aus der Zeichnung ersichtlich, ein Gerüst mit einer Eisenbahn und einem darauf laufenden Haspel erbaut, um die Steine leicht bewegen zu können. —

§. 7.

Schleusenwehre und Durchlässe.

Wir haben in **Fig. 8, 9** und **10, Taf. I**, den senkrechten Quer- und Längendurchschnitt und den Grundriß eines solchen Schleusenwehres, und in Fig. **11** die vordere Ansicht des dazu gehörigen Grieswerkes dargestellt. Das dargestellte Wehr hat 4 Schleusen oder Aufzüge, — Schützen.

Fig. 10 ist der Grundriß und darin die speciellen Theile, als:

A' ist die sogenannte Vorschuß- und B' die Abschußdecke.

An der Vorschußdecke sind i' die Flügelwände; ι' die Holme; o der halbe Bohlenbelag und x_1 die leeren Räume zwischen den Spund- und Pfahlwänden, die Kammern; a ist der Fachbaum, unter welchem sich die Hauptspundwand befindet, welche auf jeder Seite 8 bis 10 Fuß sich in die Ufer einbindet, welche dann noch mit Holmen über der Erde versehen werden muß; ι sind die Griessäulen.

Hinter dem Grieswerke, oberhalb der Abschußdecke, befindet sich der sogenannte Brückensteg y mit seinem halben Bohlenbelage, welcher zur Kommunikation dient, und auf welchem zugleich die Schleusen oder Schützen gezogen werden.

In der Abschußdecke B' sind nun c die Pfahlschwellen; n die Holme der Pfahlwände und q die Holme der Seiten- oder Flügelwände; s die Ankerholme.

Fig. 8 ist die vordere Ansicht oder der senkrechte Querdurchschnitt der Abschuß- und zugleich auch der Vorschußdecke, und darin

m die vordere Spundwand; l die Schwelle über derselben; n die Holme über den Schwellen der Pfahlwände; o der Bohlenbelag; r die Säulen der Flügelwände; q die Holme der Flügelwände; r' die Strebebänder der Flügelwände und s die Ankerholme, welche die Flügelwände zusammenhalten.

Fig. 9 ist das Längenprofil des vorbeschriebenen Wehres, in welchem alle einzelnen Theile ersichtlich sind, und zwar:

a ist der Fachbaum und i die unter demselben sich befindende Spundwand.

b b sind die Schwellen über den Pfahlwänden h h, welche sich vor und hinter dem Fachbaume in der Vor- und Abschußdecke befinden.

c c c sind die Schwellen über den Pfahl- und Spundwänden h h und g l in der Vor- und Abschußdecke.

f ist die, vor der vordern Spundwand der Vorschußdecke sich befindende Pfahlwand mit ihrer Verschwellung.

d ist die Schwelle mit der sich unter derselben befindenden Spundwand, auf welcher sich die Abschußdecke bricht.

m ist die vor der vorderen Spundwand der Abschußdecke sich befindende Pfahlwand mit ihrer Schwelle e.

Oberhalb dieses Grundwerkes sind A die Seiten- oder Flügelwände der Vorschußdecke, und in denselben

n die Holme über den Grund- und Pfahlschwellen.

o der Bohlenbelag

r r die Säulen in den Flügelwänden mit ihrem inneren Breterbeschlage, und

q die Holme der Seiten und Flügelwände.

t ist das Grieswerk oder die Griessäulen, und p die Streben derselben.

u ist der Falz, vor welchem sich die Schleusenschützbreter befinden, und z ist das Sperrrad, mit welchem die Schützen- oder Schleusenwalzen befestigt werden. Diese Schleusen- oder Schützenwalzen sind mit Löchern versehen, in welche die Hebebäume gesteckt werden, wenn man durch Umdrehung der Walzen die Ketten aufwindet, durch welche die Schutzbreter mit den Walzen in Verbindung stehen, und so die Schutzbreter hebt. Sperrrad und Fallklinke dienen nur dazu, die Walze und mit ihr die Schutzbreter in der einmal angenommenen Stellung zu erhalten, da letztere außerdem durch ihre eigene Schwere, sobald die an den Hebebäumen wirkende Kraft aufhörte, von selbst wieder herabfallen und die Schleusen schließen würden.

Oberhalb des beschriebenen Grundwerkes sind B die Seiten- oder Flügelwände der Abschußdecke nebst dem Brückenstege, und zwar:

w die Säulen zum Brückenstege mit ihrem Holme.

p p die beiden Streben, welche die Säule w stützen.

v die Spannriegel zwischen den Brücken- und Griessäulen.

x x die Balken des Brückensteges, und

y der Bohlenbelag über denselben.

n sind die Holme über den Schwellen der Spund- und Pfahlwände.

o ist der Bohlenbelag.

r r sind die Säulen der Seiten- oder Flügelwände mit ihrem inneren Breterbeschlage C.

q sind die Holme der Seiten- oder Flügelwände, und

s s sind die Ankerholme, welche die Flügelwände zusammenhalten.

Die Zwischenräume oder sogenannten Kammern werden mit Thon gehörig ausgestampft, bevor die Bohlenbeläge befestigt werden.

Fig. 11 ist die Ansicht des Grieswerkes von der Abschußdecke aus, mit der Spundwand und den beiden Flügelwänden. Die Durchschnittslinie liegt unmittelbar vor dem Fachbaume a, und es bedeuten hier

i die Spundwand unter dem Fachbaume, und i¹ die Spundwände der Flügel, welche sich in das Ufer einschließen.

a ist der Fachbaum und t² die Holme der Flügelwände, welche über der Erde liegen.

t sind die Griessäulen.

z sind die Walzen mit ihren Sperrrädern und Ketten, an welchen sich die Schleusenschutzbreter befinden.

u stellen zu gleicher Zeit auch die Falze in den Griessäulen vor, in welchen die Schutzbreter heraufgezogen und hinabgelassen werden, und

t ist der Holm des Grieswerks.

Fig. 1, Taf. II, zeigt noch einen einfachen Durchlaß, oder einen Grundablaß, wie solche oftmals neben Ueberfallwehren angebracht sind, um bei Hochwasser die abzuführende Wassermenge besser reguliren zu können, was immer sehr zweckmäßig und zu empfehlen ist. — Es darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, daß man solche Schleusen möglichst stets an der Seite des Wehres anlegt, welche den schnellsten und bequemsten Zugang bietet.

II. Wasserleitungen.

§. 8.

Anlage der Wasserleitungen und Bewegung des Wassers.

Schon in §. 1 ist angeführt, daß diese Leitungen Kanäle, Gräben, Gerinne oder Röhrenleitungen genannt werden, je nach Größe, Form und Material. Am häufigsten sind die offenen Leitungen und man hat ziemlich allgemein für dieselben den Namen Gerinne eingeführt; wobei auch wohl noch besonders vom Mühlgerinne gesprochen wird, in Erinnerung an jene Zeit, wo Alles, was Maschine war, unter den Namen „Mühle“ zusammengefaßt wurde. — Durch das Freigerinne oder den Leerlauf wird das Wasser fortgeführt, wenn der Motor in Ruhestand versetzt ist.

Das Wasser geht nicht mit gleicher Geschwindigkeit durch alle Punkte eines und desselben Querschnittes hindurch. Diese Geschwindigkeit ist nahe an der Oberfläche am größten, bei einem Kanale in der Mitte, bei einem Flusse über der größten Wassertiefe, meistens auch in der Mitte (im Stromstrich). Von da an nimmt die Geschwindigkeit nach dem Grundbett und den Ufern hin ab. —

Annähernd läßt sich setzen, daß die Geschwindigkeit in einem Perpendikel vom Wasserspiegel bis Boden um 17 % abnehme, und daß die mittlere Geschwindigkeit in demselben um $8\frac{1}{2}$ % kleiner sei als an der Oberfläche, also 0,915 von dieser betrage. — Setzen wir ebenso die mittlere Oberflächengeschwindigkeit = 0,915 mal der Geschwindig-

keit c_0 im Stromstriche, so erhalten wir für die mittlere Geschwindigkeit im ganzen Querschnitt F

$$c = (0,915)^2\ c_0 = 0,84\ c_0.$$

Es ist dann das Wasserquantum $Q = F\,c$.

Die Geschwindigkeit des Wassers wird am einfachsten durch einen Schwimmer gemessen (Holzstück, Flasche oder dergl.), wenn der Kanal auf eine längere Strecke konstanten Querschnitt hat. Die Geschwindigkeit des Schwimmers ist $= \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$. — Ein Schwimmer an der Oberfläche giebt auch nur die Geschwindigkeit nahe der Oberfläche, um aber gleich die mittlere Geschwindigkeit in einer Vertikalen zu erhalten, muß man eine Verbindung von zwei Schwimmkugeln, oder einen Schwimmstab, oder eine Schwimmtrommel anwenden. Der Versuch ist mehrere Mal zu wiederholen und aus den so bestimmten Geschwindigkeiten das arithmetische Mittel zu nehmen.

Wenn irgend thunlich, werden die Gräben oder Gerinne in die natürliche Erdoberfläche gelegt, zuweilen muß ein künstlicher Damm aufgeführt werden, oder es sind Aquädukte bei dazwischen liegenden Tiefen und Tunnel bei nicht wegzubringenden Anhöhungen anzulegen. — Boden wie Wände sind entweder natürliche Erde, Sand, Steine, oder sie werden gemauert, auch in Holz und Eisen ausgeführt. — Das Querprofil eines Wassergrabens ist entweder ein Trapez oder ein Rechteck, je nach dem dazu verwendeten Material. —

Die Form dieses Querprofils ist von Wichtigkeit, da mit der Größe der Berührungsfläche die Reibung des Wassers an den Wänden wächst. — Der Halbkreis wäre die günstigste Form, in der Regel nimmt man aber die mittlere Breite 1½ bis 3 Mal so groß als die Tiefe. — Die Schräge oder die Böschung der Seitenwände ist verschieden; bei gemauerten Kanälen genügt die halbe Höhe als Böschung; Gräben in dichter Erde erhalten die Höhe zur Böschung, welches für lockere Erde bis zur zweifachen Höhe sich steigern kann. — Bei hölzernen oder eisernen Gerinnen (wenn diese letztere keine Röhren sind) ist das Rechteck die passendste Form.

Die Geschwindigkeit des Wassers in einem Graben ist ebenfalls zu berücksichtigen; wenn dieselbe zu klein, so verschlämmt und versandet der Graben, gefriert auch im Winter eher zu; ist die Geschwindigkeit zu groß, so kann dadurch die Böschung leiden, hauptsächlich aber geht ein Theil des disponiblen Gefälles verloren, welches das Rad nutzbar machen könnte. — Die geringste Geschwindigkeit soll mindestens 8 Zoll sein, und wo ein Absetzen von Sand zu befürchten, nicht unter 12 bis 15 Zoll per Sekunde. Ebenso ist durch Erfahrung eine Maximalgeschwindigkeit bekannt, damit die Böschungen des Grabens nicht angegriffen werden:

bei thonigem Boden ½ Fuß,
bei sandigem Boden 1 Fuß,
bei kiesigem Boden 2 Fuß,
bei grobsteinigem Boden 4 bis 6 Fuß.

In den meisten Fällen variirt die Geschwindigkeit von 1 bis 2 Fuß im Zuflußgraben; im Abflußgraben etwas mehr, um das Wasser nach seiner Wirkung schnell vom Rade zu entfernen. —

Den Theil des Gefälles bei einem Wassergraben, welches derselbe haben muß, damit das Wasser mit der passenden Geschwindigkeit fließt, nennt man Rösche, Risch oder Abhang. —

Nach den Ermittelungen von Weisbach wären die Grenzen zwischen 0,000024 und 0,00605 zu suchen; wobei jedoch zu bemerken, daß man in Wirklichkeit den Aufschlaggräben bei Freiberg 0,00025 bis 0,0005 Rösche giebt, d. h. 1 : 4000 bis 1 : 2000 oder

1 Zoll auf 333 Fuß bis 166 Fuß

und den Abzugsgräben

1 : 1000 bis 1 : 500

oder 1 Zoll auf 83 — 42 Fuß. — In den meisten Fällen rechnet man $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll auf die Länge von 100 Fuß. —

Wenn δ der Abhang oder die Rösche des Kanals, so findet man das Gefälle, welches für die Bewegung des Wassers erforderlich, auf die ganze Kanallänge l in

$$h = \delta\, l.$$

Hervorzuheben ist noch, daß plötzliche Richtungs- und Querschnittsveränderungen an den Wassergräben zu vermeiden sind, weil dadurch das Bette desselben leidet, besonders bei Hochwasser.

§. 9.

Ausführung der Gerinne für unterschlägige Räder.

Zu dem Baue eines Gerinnes oder Grundwerkes für ein unterschlägiges Wasserrad werden drei Punkte erfordert, welche sorgfältig erwogen werden müssen, wenn der Bau tüchtig und haltbar werden soll.

Diese drei Punkte sind:

1) Die richtige Anordnung des Vorherdes;
2) die tüchtige Befestigung des Fachbaumes, und
3) die zweckmäßige Verbindung der Gerinne selbst.

Bei dem eigentlichen Grundwerke ist der Fachbaum der Hauptgegenstand, von dessen Befestigung der richtige Strom des Wassers jedesmal abhängt.

Der Fachbaum kommt entweder auf eine Grundmauer oder sogenannte Vorschußmauer, oder auf eine Spundwand, oder auch nur auf sogenannte Sturzpfähle zu liegen, hinter welche dann noch eine Wand von gespundeten starken Bohlen gestoßen wird.

Kommt der Fachbaum auf eine Grundmauer zu liegen, so muß dieselbe mit den gehörigen Vorsichtsmaßregeln aufgeführt und vorzüglich gut fundamentirt werden, d. h. der Grund muß so lange ausgegraben werden, bis derselbe ganz fest wird, weil sich sonst die Mauer senken würde, was für den Fachbaum nachtheilige Folgen hervorbrächte. Sollte man durch ein fortgesetztes Ausgraben keinen gehörigen Baugrund aufzufinden im Stande sein, so muß in dem vorhandenen ein Pfahlrost gestoßen oder wenigstens ein liegender Rost von dicht aneinander gelegten eichenen oder erlenen Hölzern, welche jedoch beschlagen sein müssen, gelegt werden. Man hat jedoch darauf zu sehen, daß dieser Rost, er möge nun ein stehender oder liegender sein,

beständig mindestens einen Fuß tief unter dem niedrigsten Stande des Sommerwassers zu liegen komme, indem sonst derselbe sehr bald durch den beständigen Wechsel von Trockenheit und Feuchtigkeit ruinirt und dadurch das Uebel nur noch ärger gemacht werden würde.

Die Grundmauer muß wenigstens $3\frac{1}{2}$ Fuß stark angelegt, von guten, lagerhaften, festen Steinen aufgeführt und mit fettem Thonletten verbunden werden.

Die eigentliche Vorschußmauer, auf welche der Fachbaum zu liegen kommt, muß unten 3 Fuß mit einer 6- bis 8zölligen Dossirung oder Anlauf angelegt werden, daß sie oben unter dem Fachbaume mindestens noch 2 Fuß oder 2 Fuß 4 Zoll breit bleibt. Sie muß ebenfalls von lagerhaften, gut behauenen Bruchsteinen aufgeführt, mit Letten verbunden und oben mit einer Schicht Quadern, auf welche der Fachbaum zu liegen kommt, versehen werden. Besser ist es, wenn die ganze Vorschußmauer oberhalb der Grundmauer von Quadersteinen aufgeführt wird. Der Bau wird zwar dadurch allerdings etwas kostspieliger werden, doch erlangt man mancherlei Vortheile, welche jene Mehrkosten vollkommen aufwiegen.

Wenn der Fachbaum nicht auf eine Untermauerung, sondern auf eine Spundwand zu liegen kommen soll, so muß der Grund zuvor mit einem Erdbohrer genau untersucht werden, wonach dann die Pfähle zugeschnitten werden müssen. Es kommt hier nämlich darauf an, mit den Spundpfählen den festen Grund zu erreichen. Diesen wird man an den mittels des Erdbohrers zu Tage geförderten Erdschichten erkennen und beurtheilen können. Noch besser wird man thun, vor dem Beginne des Baues mit der Ramme an den betreffenden Orten einige Probepfähle zu schlagen und nach deren Länge die nöthige Länge der Spundbohlen und Spundpfähle zu bestimmen, wobei man meistentheils, oder vielmehr immer, sicherer gehen wird, als bei den Versuchen mit dem Erdbohrer.

Zu den Spundpfählen nimmt man am liebsten eichene oder erlene Pfähle, welche, beschlagen, noch 8 bis 9 Zoll stark sein müssen. Kiefern- und Tannenholz ist in den meisten Fällen das billigste und hat auch eine gute Dauer. —

Jeder Pfahl oder jede Spundbohle bekommt auf der einen Seite einen Spund von wenigstens $2\frac{1}{2}$ Zoll Stärke und auch $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge, und auf der andern Seite eine Nuth, in welche der Spund des nebenstehenden Pfahles oder der nebenliegenden Spundbohle einpaßt. Unten werden die Pfähle in einer Länge von $1\frac{1}{2}$ Fuß auf allen vier Seiten zugespitzt, und der Kopf wird oben winkelrecht abgeschnitten.

Fig. 15, Taf. I, stellt ein Stück solcher Spundwand vor. a ist der Kopf, b die vordere Seite und c der Spund.

Es versteht sich von selbst, daß der erste Spundpfahl der Wand keine Nuth, sondern blos eine Feder, der letzte aber keine Feder, sondern blos eine Nuth erhält, damit die Spundwand vollkommen schließe.

Fig. 16, Taf. I, stellt ein Stück Spundwand, welches nach einer anderen Methode verspundet ist, vor. Hier sind die Pfähle nur nach einem Dreiecke zugeschärft und in einander gefügt, welches aber nicht

so haltbar ist, als nach Fig. 15. Will man eine Spundwand recht gut verwahren, so wird noch eine solche Wand von etwas schwächeren Pfählen hinter der wirklichen Spundwand eingestoßen.

Wenn nun die Pfähle gespundet und genuthet, überhaupt auf der Zulage vollständig verarbeitet und zugepaßt sind, so werden sie mit einer Schußramme eingestoßen und jeder Pfahl so lange gerammt, bis er auf 20 bis 30 Schläge nicht über einen Viertelzoll in den Grund eindringt. Ein Haupterforderniß ist es, daß sich die Spundwand auf jeder Seite über der Fachbaumlänge hinaus noch einige Fuß in das beiderseitige Ufer ziehe.

Wenn nun die Spundwand gehörig eingestoßen ist, wobei man auf das Sorgfältigste darauf zu sehen hat, daß alle Spunde gehörig schließen, indem eben auf diesem Schlusse die vollkommene Tauglichkeit einer solchen Spundwand allein beruht, so wird die Lage des Fachbaumes nach dem vorhandenen Gefälle bestimmt, und zwar nach folgender Art:

Das möglichst hohe Gefälle, wie dasselbe für das neue zu erbauende Werk zu erreichen steht, wird nach dem, aus früheren Jahren beobachteten mittleren Wasserstande abgesteckt, wo dann der obere Abschnittspunkt die Oberfläche des Fachbaumes bestimmt. Steht indessen schon ein Werk da, so versteht es sich von selbst, daß die Lage des neuen Fachbaumes in jedem Falle nach dem Merkpfahle, welcher bekannt ist, regulirt werden muß.

Hat man nun den bestimmten Punkt für die Lage des Fachbaumes angemerkt, so trägt man von diesem Punkte aus die Stärke des Fachbaumes an den Pfählen der Spundwand herunter, macht an derselben einen Schnurschlag und schneidet die Pfähle nach diesem Schnurschlage ab, wobei man jedoch 3 — 4 Zoll für die später anzuarbeitenden Zapfen, welche in den Fachbaum kommen sollen, zugeben, also über dem Schnurschlage stehen lassen muß. Die Zapfen bekommen eine Stärke von 3 Zoll und werden auf beiden Seiten nach der Schnur oder der sogenannten Flucht sauber verputzt, damit der Fachbaum genau aufschließe.

Nach den gedachten Zapfen wird nun auf dem Unterlager des Fachbaumes eine Nuth eingearbeitet, welche genau auf die Zapfen paßt. Ehe der Fachbaum aufgebracht wird, werden die Zapfen der Spundwand noch mit feinem Werg überlegt und dasselbe mit heißem Pech übergossen, und dann erst wird der Fachbaum so schnell, als möglich, aufgebracht und überall nach der Waage festgerammt, welches mit hölzernen Handrammen geschehen muß, damit die obere Fläche des Fachbaumes keinen Schaden leide.

Das Werg und das Pech auf den Zapfen der Pfähle dient dazu, daß zwischen dem Fachbaume und der Spundwand kein Wasser hindurchdringen kann.

Bei dem Einschlagen der Pfähle zur Spundwand kann es sich, trotz aller angewandten Vorsicht, dennoch ereignen, daß manchmal ein Spund nicht genau in der Nuth des andern Pfahles einpaßt, oder wohl gar absplittert. Damit nun auch kein Wasser durch die Spundwand dringen könne, so ist es nothwendig, daß noch eine solche Wand von schwächeren Pfählen oder starken kiefernen Bohlen vor dieselbe,

vom Vorherde aus, eingeschlagen werde. Sollte die Anbringung einer solchen zweiten Blendwand allzugroße Kosten verursachen, so würde man sich im Nothfalle damit begnügen müssen, hinter der Hauptspundwand, d. h. vom Vorherde aus, eine mindestens 14 — 16 Zoll dicke Lage fetten Thon anzustampfen, welche übrigens ebenfalls sich um einige Fuß in die beiderseitigen Ufer hineinziehen muß. — Dieser Thon wird ebenfalls das Durchsickern des Wassers durch die Spundwand oder unter dem Fachbaume hindurch verhüten, und es dürfte sogar zweckmäßig sein, selbst hinter der Blendwand noch eine solche, wenngleich etwas schwächere, Thonwand fest anzustampfen.

Wenn nun der Fachbaum aufgebracht und auch die vorbeschriebene Blendwand eingeschlagen ist, wird der Vorherd oder die sogenannte Vorfluth angelegt.

Fig. 6, Taf. II, stellt den Grundriß des ganzen Vorherdes mit dem Fachbaume vor. a a ist der Fachbaum, b b b b sind die Griessäulen; i i i sind die, über den Herdpfählen befindlichen Schwellen; e e e sind die Ständer, welche die Seitenwände des Herdes einschließen und befestigen; d sind die Seitenwände selbst; f f sind die Zapfenlöcher für die Streben dieser Wände, und d' ist der halbe Bohlenbelag des Herdes.

Fig. 5, Taf. II, ist die Seitenansicht des Vorherdes mit dem Grieswerke, und zwar: b die Griessäulen; a der Fachbaum; c c c die Herdpfähle; i der Herdschwellen; d' d' der Bohlenbelag des Herdes; g ist der Brückensteg hinter dem Grieswerke, auf welchem die Schützen gezogen werden; e sind die Säulen oder Ständer, welche den Herd einschließen und die Seitenwände desselben zusammenhalten; d sind die Seitenwände selbst, und h h sind die Ankerholme.

Im lockeren Boden müssen die Pfähle wenigstens eine Länge von 12 — 15 Fuß haben; wenn aber der Boden fester ist, wird meistens eine Länge von 9 bis 10 Fuß hinreichen. Zu den gedachten Pfählen nimmt man am liebsten Kiefernholz, doch müssen dieselben, ehe man sie einrammt, von allen Seiten gebrannt werden, soweit sie in das Erdreich kommen, damit sie nicht so leicht der Fäulniß unterworfen seien. Ihre Stärke kann, beschlagen, 6 bis 8 Zoll im Quadrat am Kopfe sein.

Sind nun alle Pfähle gehörig eingeschlagen, so werden sie der Länge nach und auch querüber abgewogen und die Zapfen angeschnitten. Zu den Schwellen nimmt man am liebsten Eichenholz, wenn es zu haben ist, oder, in Ermangelung desselben, auch Kiefernholz; sie müssen wenigstens 7 — 8 Zoll ins Quadrat beschlagen sein, und auf jeder Seite 2 bis 2½ Fuß über die Pfähle überstehen, damit die Ständer zu den Seitenwänden, nebst den Streben auf denselben, noch bequem angebracht werden können.

Die Grund- und Fachbäume erhalten in vielen Fällen eine Stärke von 16 bis 18, sogar 24 Zoll, welches aber den Bau unnöthig vertheuert, in der Regel wird 10 bis 12 Zoll genügend sein.

Wenn nun auch die Schwellen gehörig aufgebracht sind, so werden die Räume zwischen den verschiedenen Schwellen, die sogenannten Kammern, 2 Fuß tief, und die letzte Kammer vor dem Fachbaume 3 bis 4 Fuß tief ausgegraben, mit fettem Thonletten gehörig ausge-

stampft und mit den Schwellen abgeebnet. Hierauf wird das Grieswerk auf den Fachbaum gesetzt, wie es **Fig. 3 u. 4, Taf. II,** zeigen. **Fig. 3** ist die Ansicht desselben nach den Wasserrädern zu mit der Spundwand, und zwar: a der Holm; bb die Griessäulen; c die Streben an denselben; eee die Spannriegel, vor welchen die Schutzbreter vorliegen; fff sind die Schützen selbst, welche von starken kiefernen Bretern gefertigt werden; d ist der Fachbaum und g die Spundwand. Ein solches Grieswerk hat, nach Beschaffenheit der Umstände, eine Höhe von 4½ bis 5 Fuß; die Griessäulen haben eine Stärke von 9 bis 10 Zoll im Quadrat, wonach sich dann der Holm a richtet, der auf beiden Seiten, als Verdachung des Grieswerkes, 1 bis 1½ Zoll überstehen muß.

Nachdem die Schwellen angelegt sind, werden nun die Ständer e e, **Fig. 6, Taf. II,** welche die Seitenwände des Vorherdes zusammenhalten, auf die Herdschwellen gesetzt, verstrebt und verankert.

Wenn nun auch der Herd auf die vorbeschriebene Art vorgerichtet ist, wird der Bohlenbelag d' d', **Fig. 6, Taf. II,** aufgelegt. Die Bohlen müssen wenigstens 2 bis 2¼ Zoll stark sein und mit Nuth und Feder, einem sogenannten Wasserspunde, versehen werden, damit kein Wasser von oben in den Herd eindringen könne. Ebenso müssen die Herdbohlen in den Fachbaum eingefalzt werden und mit der Oberkante desselben bündig zu liegen kommen, wie aus der **Fig. 5, Taf. II,** zu ersehen ist. Die kiefernen Bohlen sind hierzu die besten.

Nun werden auch die Seitenwände des Vorherdes angelegt. Hierzu nimmt man entweder geschnittenes Halbholz oder 3½ bis 4 Zoll starke Bohlen, welche egal gefügt und auch mit Nuth und Feder versehen werden müssen, damit kein Wasser, nach den beiden Seiten hin, durch die Wände dringen und auf diese Art verloren gehen oder die Wände gar hinterspülen könne. Man bedient sich auch bei der Zusammenstellung gedachter Wände, zur besseren Verbindung derselben, noch eines Wasserkittes, welcher aus weißem Käse, der mit ungelöschtem Kalk und Eiweiß abgerieben, dann noch mit etwas Feilspänen und Ziegelmehl vermischt wird, besteht und zwischen die Fugen gestrichen wird. Gut ist es, wenn man alles Holzwerk, welches zum Vorherde angewendet wird, noch mit Steinkohlentheer bestreicht.

Das Gerinne selbst ist je nach dem Gefälle entweder durchweg horizontal oder geneigt, oder es befindet sich vor dem horizontalen Boden noch ein besonderer Kropf. — Immer aber liegt der Gerinneboden auf den Grundschwellen, die Kropfstücke auf den Kreuzschwellen und die Seitenwände oder Gerinnenwände haben entweder durchgerammte Wandpfähle oder aufgesetzte Ständer, und sind mit den Gerinneholmen oder Weidebänken (Weitebänken) versehen. - Damit das Wasserrad in einer gewissen Entfernung von der Gerinne- oder Lehrwand bleiben kann, und doch, so breit als der Kranz ist, möglichst dicht geht, legt man noch die sogenannten W a s s e r b ä n k e in das Gerinne. —

Die Befestigung des Dielwerkes (oder der Boden- und Seitenbeläge) geschieht mit eisernen oder hölzernen Nägeln, und ist es vortheilhaft, daß die vorgebohrten Löcher nach **Fig. 2, Taf. II,** schief sind, weil sich die Bohlen dann nicht so leicht abheben. —

Die verschiedene Dichtung in den Ecken beim Zusammenstoß zwischen Boden- und Seitenbelag zeigen die **Fig. 12, 13, 14, Taf. I,** wobei die ersteren Ortleisten haben. —

Die Höhe der Vorgesenke, wie der Gerinne, richtet sich nach den vorkommenden Wasserständen, und muß hoch genug sein, um auch in einem außergewöhnlichen Falle nicht überschwemmt oder durchbrochen zu werden.

Die Grundwerke für mehrere unterschlägige Räder, meistens Pansterräder, werden in ähnlicher Weise angeordnet, so daß darüber weiter Nichts anzuführen wäre, **Fig. 7, 8, 9, Taf. II,** zeigen solche Anordnungen.

Taf. VI, Fig. 3 u. 4, zeigen ein gemauertes Gerinne, mit den Holzgerüsten zur Auflagerung des Pansterzeuges.

Taf. VI, Fig. 1 u. 2, zeigen die Anlage eines Kropfgerinnes nebst dem dazu gehörigen Freigerinne, und bedarf es für diese Figuren keiner weiteren Erläuterungen.

§. 10.

Ausführung der Gerinne für oberschlägige Räder.

In sehr vielen Fällen lassen sich, durch Terrainverhältnisse begünstigt, die Grundwerke bei oberschlägigen Rädern einfacher herstellen als für unterschlägige, und nur da, wo die Anlage mehrerer oberschlägiger Räder stattfindet, ist ein größerer Bau nothwendig. —

In den einfachsten Fällen können die Rinnen- wie die Zapfengerüste mit dem Mühlengebäude in Verbindung stehen; die **Fig. 11 und 12, Taf. II,** zeigen die Anordnung für einen Massiv- wie Holzbau. — Oftmals kann man das Rad dicht hinter eine vertikal aufzuführende Mauer anlegen, und es ist dann nur eine kurze Wasserrinne nach dem Rade erforderlich, sowie in den meisten Fällen ein sehr einfaches Vorgesenke. Siehe **Fig. 10, Taf. II.**

Die Grundwerke für mehrere oberschlägige Räder haben entweder für jedes einzelne Rad eine besondere Rinne, oder besser über den Rädern einen gemeinschaftlichen Wasserbehälter, wobei für jedes Rad eine Schütze angeordnet ist, welche das sogenannte Schlundloch schließt; wie in den **Figuren 13, 14, Taf. II.**

Das Grundbett unter den oberschlägigen Wasserrädern bei kleinen Wassermengen, läßt man in der Regel im natürlichen Zustande, oder pflastert es leicht aus. Für größere Wasserwerke wird auch hier eine festere Ausführung nothwendig. —

§. 11.

Anlage der Gerinne für Turbinen.

Während die Gerinne für die Wasserräder an jeder Stelle einen oben offenen Kanal darstellen, bilden die Turbinengerinne bei der Turbine selbst einen mehr oder weniger hohen Schacht, mit welchem Ober- und Untergraben in Verbindung stehen. — Diese Turbinen-

gerinne werden entweder aus Mauerwerk, **Fig. 15, 16, Taf. II**, oder aus Holz, **Taf. XVII**, oder aus Mauerwerk, Holz und Eisen, wie **Taf. XXIV** bis **Taf. XXVI** ausgeführt; zuweilen, namentlich für Hochdruckturbinen (Turbinen mit hohem Gefälle) ist das Gerinne ein angemessenes weites gußeisernes Rohr, wie **Tafel XV, Fig. 3** a und **Tafel XIV, Fig. 4.**

Die Fundamentirung und Ausführung dieser Turbinen geschieht ebenso wie bei den Wasserrädern, obschon die äußere Form eine abweichende ist, und ist dieselbe Sorgfalt zur Herstellung der nöthigen Dichte zu verwenden. —

§. 12.

Aufsammeln des Wassers in Teichen.

Die Anlage von Teichen kann sehr oft in sonst wasserarmen Gegenden Maschinenanlagen mit hydraulischen Motoren ermöglichen, man sammelt in denselben nicht blos das Regenwasser an, sondern führt in dieselbe auch Quellen und kleine Bäche. — Specielle Bestimmungen, wie ein Teich anzulegen, lassen sich nicht geben, da dies zu sehr von lokalen Verhältnissen abhängt. Wichtig ist es, einen Grund zu vermeiden, welcher das Wasser nicht hält, und wenn man sich den Ort nicht beliebig aussuchen kann, muß man die Dichtigkeit des Grundes wie der Seitenwände durch Thon-, Lehm- oder Rasenschichten, eventuell auch durch wasserdichtes Mauerwerk herstellen.

Aus den Teichen führt nun das Gerinne zum Motor und befindet sich an der Einmündungsstelle eine Schütze. — Je höher man diese Gerinne einmünden läßt, desto größer wird das benutzbare Gefälle, aber desto kleiner wird das Volumen des disponibeln Wassers. — Wo der Motor dies zuläßt, ist es ganz vortheilhaft, z. B. bei einer Turbine, das Gerinne als eine geschlossene Röhre anzulegen, weil es dann möglichst tief im Teiche einmünden kann, ohne daß dabei das Gefälle verloren geht. — Außer dem Maschinengerinne werden noch Fluther oder Ablaßgerinne am tiefsten Punkte angelegt, zum vollständigen Ablassen und Fischen des Teiches. —

§. 13.

Feststellung des Gefälles und Wasserstandes.

Fast überall ist bei Wasserwerken die Höhe des benutzbaren Gefälles, resp. der Wasserstand, gesetzlich festgestellt, — und bedarf dazu bestimmter fixirter Punkte, welche man durch das Anbringen von Pegeln erreicht, auch Markpfähle, Haimstöcke oder Aichpfähle genannt; da hierdurch nur die Entscheidungen bei Wasserstreitigkeiten gelöst werden können.

Diese Pegel sind entweder von Eisen oder von Holz. — Die eisernen sind meistens cylinderförmig, etwa 2 bis 3 Fuß lang und bis 6 Zoll Durchmesser, mit verschiedenen in Kreuz angebrachten vorspringenden Ansätzen. — Man stellt solche eiserne Pfähle meistens in den aus Felsen ausgestemmten Raum oder in Mauerwerk, so daß die obere

geschlossene Kreisfläche in der richtigen Höhe sich befindet und genau horizontal liegt. Die Zwischenräume werden fest ausgemauert oder mit Blei u. dergl. vergossen. —

Die hölzernen Pegel sind bis 9 Zoll im Quadrat stark und ihre Länge richtet sich nach der Beschaffenheit des Grundes, in welchen sie eingerammt werden; auf die obere Kopffläche wird in solider Weise eine eiserne oder kupferne Platte aufgesetzt. — Auch werden solche Pfähle wohl in ausgemauerte 6 bis 7 Fuß tiefe und bis 3 Fuß im Durchmesser haltende Gruben eingesetzt, auf deren Boden man eine möglichst große Steinplatte gelegt hat. — Die Pfähle haben dabei ein oder zwei Kreuze, und mit diesen werden sie in der Grube fest vermauert, nachdem ebenfalls die Kopffläche genau horizontal in der richtigen Höhe regulirt worden. —

Die Stelle dieser Markpfähle an festen Punkten, wie Ecken eines Gebäudes oder dergl., wird bezeichnet, sowie überhaupt amtlich ein Protokoll über die Setzung eines solchen Pfahles aufgenommen wird.

Es wird nun entweder und meistens die Höhe, Oberkante eines Wehres oder Fachbaumes nach der Oberkante des Pegels abgemessen und angelegt, oder man findet auch zuweilen solche Pegel, deren Oberfläche die Höhe des gesetzlich zulässigen Wasserstandes bezeichnet. — Dies letztere kann z. B. stattfinden, wenn bei zwei Wasserwerken das untere verhindert werden soll, das Wasser aufzustauen, weil dann das obere Werk mit Stauwasser arbeiten müßte, also an Gefälle verlieren würde. —

§. 14.

Hauptpunkte für die Beurtheilung der Terrainverhältnisse bei Wasserwerken *).

Es wird allgemein angenommen, daß der Eigenthümer eines Wasserwerkes den natürlichen Lauf des Gewässers zum Nachtheil seiner Nachbarn nicht ändern darf; jeder untere Nachbar ist aber verbunden, das Wasser vom obern durch sein Grundstück aufzunehmen, wenn er im Stande ist, dieses Wasser auch wieder von seinem Grundstücke abzuleiten. —

Es unterliegt der gesetzlichen Genehmigung:

1) Die Einleitung eines Wassers in ein anderes. —
2) Die Abänderung oder Aufdämmung der Wassergräben. —
3) Die Aenderung eines Wehres, Fachbaumes, oder Markpfahles.—
4) Zuweilen, aber nicht in allen Ländern, die Abänderung des Betriebes oder die innere Einrichtung eines Werkes, obgleich dies letztere eigentlich, wenn an Gefälle und Wasserstand nicht geändert wird, jedem Eigenthümer überlassen bleiben sollte. —

Die Ufer der Wassergräben sollen im guten Stande erhalten und die Gräben selbst in regelmäßigen Zwischenräumen geräumt und gereinigt werden; auch darf Niemand durch Schutt oder dergl. dieselben verunreinigen.

*) Pohl, die Anlage von Wasser-Mahlmühlen. 1865.

Je nach der Menge des Hochwassers und wenn von einzelnen Werken das Wasser abgeschlagen werden soll, ist die Anbringung von Leer- oder Freigerinnen (Fehlfluther) anzuordnen. —

Wehre sind stets so anzuordnen, daß sie das Wasser nicht zum Schaden der benachbarten Grundstücke aufstauen, wo also bei flachen Ufergegenden durch Anlage von Ueberfallwehren zu befürchten steht, müssen entweder Grundabläße angebracht oder es müssen Schleusenwehre angelegt werden. —

Das Aufsetzen von Balken oder Bretern auf die Fachbäume der Wehre und Gerinne, oder auf die Schleusen, ist nicht gestattet, obgleich es allerdings in trockner Jahreszeit zuweilen vorkommt, daß man bei Wehren Breter oder dergl. aufsetzt, um das Wasser besser zu sammeln, und wenn die nächsten Wasserwerke weit genug entfernt sind, auch die benachbarten Grundstücke nicht dadurch beschädigt werden, mag man es wohl stillschweigend hingehen lassen, wenn diese Hindernisse frühzeitig genug entfernt werden bei höheren Wasserständen. — Als Anhaltspunkte zur Beurtheilung in streitigen Fällen dienen immer die Pegel oder Markpfähle. —

Die Fachbäume müssen stets horizontal liegen. Bei einer nicht horizontalen Lage eines Fachbaumes hat man zu untersuchen, ob die schiefe Lage nicht durch willkürliche absichtliche Erhöhung eines Endes veranlaßt ist, und darnach die Abänderung anzuordnen. — Wenn ein solcher Verdacht nicht begründet sich zeigt, und auch keine Anhaltspunkte durch einen Markpfahl gegeben sind, so hat man die Höhe in der Mitte der Länge des Fachbaumes als die wahre anzunehmen und denselben darnach wieder horizontal zu befestigen.

Schiffmühlen im freien Strome werden nur angelegt, wo die Ufer dadurch nicht beschädigt werden, und die Schifffahrtsverhältnisse es gestatten. —

Durch Anlage von Sammelteichen läßt sich dem Wassermangel wenigstens theilweise abhelfen, besonders bei solchen Werken, welche nur mit Tagesschicht arbeiten und des Nachts stille stehen. Selbstverständlich dürfen auch solche Teiche nicht ohne Genehmigung angelegt und die benachbarten Grundstücke dadurch nicht beschädigt werden.

Bei der Anlage eines neuen Wasserwerkes wird mit Rücksicht auf Terrainverhältnisse dabei vorher festzustellen sein, daß das Werk durch seine Lage keiner Wassergefahr ausgesetzt ist, so lange nicht außergewöhnliche Hochfluthen, Wolkenbrüche oder dergl. eintreten, und daß das nöthige Wasser ohne Nachtheil der Nachbarn dem Werke zu- und auch von demselben weggeführt werden kann. —

Zweites Kapitel.

Die Wasserräder.

§. 15.

Erklärungen.

Die Wasserräder haben verschiedene Benennungen, gewöhnlich nennt man das Rad nach dem Verhältniß des Gefälles zum Raddurchmesser. Ist das Gefälle größer, als der Durchmesser des Rades (oder die Höhe des Rades), so heißt das Rad oberschlägig, ist das Gefälle kleiner als der Durchmesser, aber größer als der Halbmesser, so heißt das Rad rückenschlägig; ist das Gefälle gleich dem Halbmesser, so ist das Rad mittel- oder halbschlägig, und ist das Gefälle kleiner als der Halbmesser, so ist das Rad unterschlägig. — Die unterschlägigen Räder hängen entweder frei im unbegrenzten Wasser, Schiffmühlenräder, oder sie sind von Gerinnen eingeschlossen. — Die Räder im geraden Gerinne können in den meisten Fällen gehoben und gesenkt werden, man nennt sie dann Pansterräder, oder sie gehen in einem sich dem Rade möglichst anschließenden Kropfgerinne, und heißen dann Kropfräder. — Auch mittelschlägige Räder werden nur mit Kropf gebaut, und in einzelnen Fällen erhalten auch wohl rückenschlägige einen Mantel.

§. 16.

Theile eines Wasserrades.

Jedes Wasserrad besteht aus einer Welle oder Axe, die sich mit ihren Zapfen in Lagern dreht; auf der Welle sind in verschiedener Weise die Arme befestigt, welche zur Verbindung des Wasserradkranzes mit der Welle dienen; an den Wasserradkränzen sind ebenfalls in ganz verschiedener Weise die Schaufeln befestigt, an welche das Wasser trifft, wodurch das Rad in Umdrehung versetzt wird. —

§. 17.

Radkonstruktionen und Material für die einzelnen Theile des Rades.

Die Art und Weise, wie die Schaufeln mit den Radkränzen verbunden, bedingt hauptsächlich den Unterschied in der Konstruktion der Räder. Wenn die Schaufeln auf der Peripherie eines oder mehrerer Kränze stehen, nennt man das Rad ein Strauberrad, wenn die Schaufeln zwischen zwei (oder drei) Radkränzen befestigt sind, nennt man das Rad ein Staberrad.

Am besten werden die unterschlägigen Räder als Strauberräder und die oberschlägigen als Staberräder gebaut. — Wenn die letztern keinen durchgehenden Boden haben, gegen welchen die Schaufeln stoßen, sondern wenn jede Schaufel eine für sich bestehende genügend geschlossene Abtheilung oder Zelle bildet, so nennt man solche Räder auch Zellenräder (Sackräder); und dieser Benennung gegenüber findet sich dann auch der Name Schaufelräder für Strauberräder.

Früher wurden die Räder ausschließlich aus Holz gebaut und nur die Zapfen der Wellen waren von Eisen, gegenwärtig empfiehlt es sich nicht mehr, ganz hölzerne Räder zu bauen, denn einmal sind für einzelne Theile die passenden Hölzer nur noch schwierig zu beschaffen, und andererseits leisten die hölzernen Räder weniger als eiserne. — Ganz eiserne Räder finden sich jedoch auch nicht allzu häufig wegen ihres hohen Herstellungspreises. —

Für unsere Verhältnisse wird es in den meisten Fällen am vortheilhaftesten sein, die Räder aus Eisen und Holz in Verbindung zu bauen. Solche Räder lassen sich derartig konstruiren, daß sie den Anforderungen eines möglichst großen Nutzeffektes entsprechen, und dabei nicht allzu theuer werden. — Die Welle kann man von Holz oder auch von Eisen nehmen, die Verbindung der hölzernen Arme mit der Welle, gleichviel aus welchem Material die letztere ist, geschieht stets am besten mittelst einer gußeisernen Nabe; für Staberräder werden die Kränze aus hölzernen Bohlen zusammengesetzt und die Schaufeln aus Schmiedeeisenblech hergestellt; Strauberräder erhalten einen hölzernen oder am passendsten einen gußeisernen Kranz mit hölzernen oder eisernen Stelzen, an welche die Schaufelbreter befestigt werden. — Zum festen Verband des ganzen Rades wird dann noch mit schmiedeeisernen Rundstangen eine Diagonalverstrebung angeordnet. —

§. 18.

Welle und Zapfen.

Die hölzernen Wellen werden von Eichenholz, in Ermangelung desselben auch von Nadelholz angefertigt, dieselben haben zum Theil einen quadratischen Querschnitt, **Taf. IV, Fig. 1**, am häufigsten jedoch einen achteckigen und zuweilen auch einen ganz runden, **Taf. IV, Fig. 3**. — Die Enden der Welle müssen eiserne Zapfen erhalten, die entweder von Gußeisen, auch von Schmiedeeisen sind; am häufigsten sind die gußeisernen Blattzapfen, seltener sind die Ringzapfen und Scheibenzapfen, und nur für leichte Wasserräder wird man Spitz- und Hakenzapfen anwenden, die gewöhnlich von Schmiedeeisen sind.

Taf. VI, Fig. 8 zeigt einen Blattzapfen, dessen konischer Stiel c 4 Flügel hat, von denen die beiden mit b bezeichneten in der Richtung der Axe kürzer sind, als die Flügel a. — Beim Einsetzen wird das Stielloch vorgebohrt, dann werden die Schlitze für die Flügel oder Blätter genau ausgearbeitet, worauf man den Zapfen mit einem hölzernen Schlägel eintreibt; auf die schmale Kante der Blätter, wenn diese nicht mit dem Wellenhalse bündig sind, legt man Federn von

Schmiedeeisen oder Eichenholz, die den Zwischenraum ausfüllen, und treibt dann zwei oder drei schmiedeeiserne Ringe warm auf. —

Taf. VI, Fig. 9, zeigt einen Zapfen, welcher eine Kombination von Blatt- und Ringzapfen ist; nachdem er aufgetrieben, wird er durch Schraubenbolzen a noch weiter befestigt, deren Muttern b in die Welle eingelegt sind. —

Die gußeisernen Wellen sind entweder hohl, mit eingesetztem schmiedeeisernen oder stählernen Zapfen, **Taf. VII, Fig. 8**, oder massiv, wo dann die Zapfen wohl auch bald mit angegossen sind, **Taf. III, Fig. 1 u. 5**, sowie **Taf. VII, Fig. 5.** — Diese letzteren Wellen haben in der Mitte einen rippenförmigen Querschnitt, welcher unbearbeitet bleibt, während die Zapfen und die Nabensitze abgedreht werden. — Die vorbenannte hohle gußeiserne Welle, **Taf. VII, Fig. 8**, gehört einem eisernen Wasserrade von 13′ 9″ Durchmesser und 4′ 2″ lichter Breite, mit 42 Schaufeln, das 4′ Gefälle hat. —

Die schmiedeeisernen Wellen sind stets massiv; sie müssen entweder ganz abgedreht werden, oder man muß die Nabensitze vorher durch Anstauchen der rohen Welle bilden, und diese dann mit den Zapfen allein abdrehen, wie bei **Taf. V, Fig. 2**, angenommen ist. —

Die Zapfen der Wellen ruhen in Lagern, welche ihre Befestigung auf gemauerten Fundamenten oder hölzernen, selten eisernen, Gerüsten finden. —

Taf. VI, Fig. 6, zeigt ein hölzernes Angewelle mit einer einfachen Pfanne, die hier aus hartem Holze angenommen und eingesetzt ist, man nimmt dafür auch zuweilen Stein (Katzenstein) oder Glas. — Ein solches Angewelle ist 4 — 5 Fuß (1,25 — 1,57 Meter) lang, 12 — 18″ im Quadrat (31 47 Centim.) stark, es ruht auf den Streckhölzern b, die vorher genügend unterstützt und befestigt sind.

Bei schweren Rädern, namentlich oberschlägigen, kann man die Lager offen halten, ohne Deckel, wie **Taf. III, Fig. 1 u. 7** zeigen, wo die Rothgußpfanne in einem gußeisernen Gehäuse ruht, und dieses auf die Sohlplatte geschraubt ist, welche wiederum durch Fundamentbolzen auf dem Mauerwerk befestigt ist. —

Die geschlossenen Lager mit Deckel sind von den vorstehenden nur durch den Deckel verschieden, welcher dann mit einem Schmierloch und einer Schmierbüchse versehen ist. —

§. 19.

Nabe mit Armkonstruktion.

Anstatt wie sonst die hölzernen Wellen zu durchlochen (wodurch dieselben nicht blos geschwächt werden, sondern an den Löchern auch bald faulen) und die Arme in der Welle zu befestigen (Sternarme), legt man jetzt die Arme um die Welle, welche dann auch quadratisch bleibt, wie bei **Taf. IV, Fig. 1**, angenommen (Sattelarme), oder man befestigt die Arme mit Hülfe des sogenannten holländischen Verbandes **Taf. IV, Fig. 5** — Statt dessen wendet man jetzt meistens eine gußeiserne Nabe (Rosette) an, und bei großen Rädern ist man schon deshalb hierzu genöthigt, damit die Arme in einer Länge herzustellen

sind. — Taf. IV, Fig. 3, zeigt eine gußeiserne Nabe auf hölzerner Welle, Taf. III, V, VII und VIII zeigen solche auf eisernen Wellen. — Die Befestigung der Arme an die Nabe, sowie der Arme an die Kränze geht aus den Figuren deutlich ohne weitere Beschreibung hervor, ebenso wie in sämmtlichen Figuren die Verstrebung der Armsysteme mit schmiedeeisernen Rundstangen zu ersehen ist. Taf. VIII, Fig. 6 und 7, zeigen ein gußeisernes Armsystem auf eiserner Welle, welches mit dem eisernen Kranze aus einem Stücke gegossen ist; und Taf. III, Fig. 1, sowie Taf. VII, Fig. 4, zeigen ein Stück eines ganz eisernen Rades, wo das Armkreuz mit dem Kranze durch Laschen und Schrauben, oder mittelst Keilen verbunden ist. —

§. 20.

Kranz und Schaufeln.

Die hölzernen Kränze werden aus ringförmigen Bohlen- oder Bretstücken zusammengesetzt, die man Felgen nennt. Die Felgen werden, dem Durchmesser des Rades entsprechend, von außen und innen abgerundet, und mit Centralfugen auf dem sogenannten Radestuhle (einem Gestell oder Bocke mit mehreren Armen und Füßen) scharf zusammengearbeitet. Die Felgen, welche zusammen einen Ring bilden, heißen eine Felgenlage, und es gehören zur Herstellung eines Kranzes mindestens 2 Felgenlagen, die mit verwechselten Stoßfugen auf einander gelegt und mit hölzernen Nägeln zusammengenagelt werden. — Die innere Felgenlage nimmt man bei Staberrädern zuweilen stärker als die äußere, weil darin die Nuthen für die Schaufeln eingearbeitet werden. — Die Stärke einer Felgenlage ist verschieden, je nach der Größe des Rades und der Breite des Kranzes, man nimmt sie innerhalb der Grenzen $1\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll. — Die Anzahl der Felgen in einer Lage hängt vom Durchmesser des Rades, von der Breite des Kranzes und der Breite der zu verwendenden Bohlen ab; sehr lange Felgen taugen nicht, weil dabei zu viel Holz verschnitten wird; demnach kann eine Lage aus 8 bis 16 Stücken zusammengesetzt sein.

Die hölzernen Arme werden je nach der Konstruktion des Rades an die Kränze angeblattet, Taf. IV, Fig. 1 u. 2, wobei ein Theil jedes Armes unter die innere Kranzfläche greift, und außerdem noch mit Schraubenbolzen angeschraubt. — Geschieht dagegen die Verbindung der Arme mit den Kränzen, wie bei Fig. 3 und 4, Taf. IV, so findet man dafür wohl auch den Ausdruck, das Rad werde auf den „Schemmel“ gebaut. Die Verwendung schmiedeeiserner Blattbolzen an den Verbindungsstellen ist zwar nicht allgemein, aber zu empfehlen. Beim Strauberrade Taf. V sind die Arme in den Kranz mit Zapfen befestigt; ebenso wie die Stelzen im Kranze befestigt sind, jedoch nach innen vorstehend mit einem Keil, damit bei etwaigem Abbrechen das Auswechseln leicht geschehen kann. —

Die Befestigung der Schaufeln mit den Stelzen ist aus Taf. V und Taf. VIII, Fig. 8 — 10, deutlich zu ersehen. — Die Befestigung der Schaufeln (bei Staberrädern), sowohl der hölzernen als der

von Schmiedeeisenblech, erfolgt dadurch, daß in die innere Felgenlage entsprechende Nuthen eingearbeitet werden, und nachdem man das Rad zusammengestellt mit seinen Schaufeln, werden die beiden Kränze in der Breitenrichtung des Rades durch schmiedeeiserne Schraubenbolzen zusammengeschraubt.

Beispiele für eiserne Radkränze geben die **Taf. III**, sowie **Taf. VIII, Fig 6** und **11, Taf. VII, Fig. 1, Fig. 2** und **Fig 4.** —

Auch ist aus diesen Figuren die Verbindung solcher Kränze mit eisernen und hölzernen Armen, sowie die Verstrebung der Kränze unter sich und auch der Kränze mit den Naben ersichtlich.

Fast immer sind die Schaufeln fest mit den Kränzen verbunden, zuweilen hat man den Rädern, besonders den unterschlägigen, auch bewegliche Schaufeln gegeben, jedoch haben dieselbe keine häufige Anwendung bis jetzt gefunden. —

§. 21.

Schützen.

Sowohl um das Wasser ganz vom Rade abzusperren und in das Freigerinne zu führen, als auch um die Aufschlagmenge zu reguliren, wendet man Vorrichtungen an, die nach vertikaler Richtung angemessen verstellt werden können, und welche man Schützen nennt. —

Dieselben sind von der verschiedensten Konstruktion, und demzufolge sind auch ihre Namen sehr verschieden. —

Man spricht von Spannschützen, wenn dieselben konstruirt sind, wie auf **Taf. III, Fig. 2, Taf. IV, Fig. 1, Taf. V, Fig. 1, Taf. VII, Fig. 6.** — Die Führung derselben geschieht entweder vertikal oder schräg, ihren Halt finden sie entweder an Falzen, gegen welche sie sich legen, oder vermittelst Scharnierstangen. Um die Kontraktion des Wassers möglichst zu vermindern, erhalten die Schützenbreter an der Einströmungs-, d. i. der untern Seite, einen Wulst, wie dies in den Figuren angegeben. Es ist für die Wirkung des Wassers vortheilhaft, die Schützvorrichtung so nahe als möglich ans Rad zu legen, für die unterschlägigen Räder ergeben sich hieraus schräg gestellte Schützen, oftmals bis zu einem Winkel von 45°, wie beim Ponceletrade, **Taf. VII, Fig. 7.** —

Ueberfallschütze finden sich abgebildet **Taf. VII, Fig. 3,** sowie **Taf. VIII, Fig. 6** und **11.** — Die Koulissenschütze, eine gewöhnliche Schütze mit Einlaufkurven von Eisenblech, ist **Taf. IV, Fig. 3,** gezeichnet. —

Eine eigenthümliche, nicht allzuhäufig angewendete Schütze ist die Scharnierschütze **Taf. VI, Fig. 2.**

Dieselbe ist als Ueberfallschütze zu betrachten, deren einzelne hölzerne Glieder durch eiserne Scharniere mit einander verbunden sind, die sich zu beiden Seiten gegen einen eisernen Bogen legen, welcher dem Raddurchmesser entsprechend ist. —

Die Gerinne mit Scharnier- und Ueberfallschützen erhalten in geringer Entfernung von diesen noch eine zweite Schütze, die dann ver-

tikal steht und mit welcher das Wasser vom Rade ganz abgesperrt werden kann, wie **Taf. VII, Fig. 3.**

Eine andere eigenthümliche Schütze ist noch die auf **Taf. VII, Fig. 1,** gezeichnete, die zu den Ueberfallschützen zu rechnen wäre, und die man eine Schütze für innere Beaufschlagung nennen könnte. — Eine solche Schütze nebst Wasserrad ist nur für kleine Wassermengen anwendbar, da das Rad nicht sehr breit werden kann. —

Die Details, sowie die Zugvorrichtungen der einzelnen Schützen sind aus den vorgenannten Figuren auch ohne weitere Beschreibung hinlänglich ersichtlich. —

§. 22.
Gerinne.

Obschon dieselben bereits im ersten Kapitel im Allgemeinen besprochen, bleibt hier noch der letzte Theil derselben, d. h. der unmittelbar am Rade liegende, etwas näher zu behandeln. — Für oberschlägige Räder ist es Bedingung, das Gerinne so dicht als möglich über dem Rade endigen zu lassen, weil hierdurch der Gefälleverlust und der Stoß des Wassers möglichst herabgezogen wird; es ist deshalb von der Holzkonstruktion dieses Theiles des Gerinnes ganz abzusehen, und derselbe in Eisen auszuführen, wie dies **Taf. III, Fig. 2,** und **Taf. IV, Fig. 1,** verdeutlichen. —

Um das Wasser im Rade möglichst lange zurückzubehalten, formt man nicht blos die Schaufeln dieser Anforderung entsprechend, sondern man umgiebt das Rad mit einem seinem Durchmesser entsprechenden Cylinderbogen; derselbe ist entweder ein Mantel, der sich auf mehr als ein Viertel des Umfanges erstreckt, oder ein Kropf, der nur ein kurzes Bogenstück bildet, man nennt solche Gerinne speciell auch Kropfgerinne. Dieselben werden entweder in Mauerwerk ausgeführt, oder in Holz, oder in Eisen mit Holzbelag. Die letzte, nicht allzuhäufige, aber in gewissen Fällen ganz vortheilhafte Ausführung zeigt **Fig. 4, Taf. VII,** wobei auch der Durchschnitt der bogenförmigen Träger T an jeder Seite, sowie der des mittelsten Trägers T_1 angegeben ist. — Die drei Träger bilden die Unterlage zur Befestigung der hölzernen Bohlen. — **Taf. VIII, Fig. 6,** und **Taf. IV, Fig. 3,** zeigen einen gemauerten Kropf; **Taf. V,** sowie **Taf. VI, Figur 2, Taf. VII, Fig. 3** und **Fig. 6**, zeigen Kropfgerinne aus Holz.

§. 23.
Uebertragung der Kraft vom Wasserrade an die Arbeitsmaschinen.

Die vom Rade nutzbar gemachte Kraft des Wassers ist an die Arbeitsmaschinen zu übertragen; dies erfolgt auf zwei verschiedene Arten, entweder durch die Wasserradwelle, indem auf derselben ein Rad befestigt ist, welches die Kraft weiter fortsetzt, oder von einem der Radkränze, oder Armsysteme, an welche ein gezahnter Kranz an-

geschraubt sich findet. Die erste Art findet sich z. B. **Taf. VI, Fig. 5,** wobei das Zahnrad, gleichviel ob Stirnrad oder konisches Rad, innerhalb des Gebäudes liegt, sowie auf **Taf. VI, Fig. 3,** wo die Räder noch außerhalb liegen, was ganz von lokalen Verhältnissen abhängig ist; bei der zweiten Art, weil der Zahnkranz am Wasserrade direkt, sind die Räder oder wenigstens das erste Getriebe stets außerhalb des Gebäudes, der Zahnkranz kann dabei ein nach außen verzahnter sein, wie **Taf. III, Fig. 1,** oder ein nach innen verzahnter, wie **Taf. VII, Fig. 6.** —

§. 24.

Stärkeverhältnisse der Radtheile.

Nicht blos Schaufeln und Kranz müssen dem Gewichte des von ihnen zu tragenden Wassers entsprechend stark gemacht werden, es müssen auch die Radarme, und namentlich die Wellen mit ihren Zapfen angemessene Stärke erhalten. — Die Bestimmung der Stärke dieser Theile erfolgt nach den Gesetzen, welche über die Festigkeit der einzelnen Maschinentheile gültig sind; auch werden diese Theile nicht immer in gleicher Weise in Anspruch genommen, bei einer Anordnung wie **Taf. III** oder **Taf. VIII, Fig. 7,** wird die Radwelle nur auf relative Festigkeit in Anspruch genommen, abhängig vom Gewicht des Wasserrades; bei einer Anordnung, wie **Taf. VI, Fig. 3 u. 5,** ist die Welle nicht blos nach relativer Festigkeit, sondern auch mit Rücksicht auf Torsion zu berechnen, welche dadurch hervorgerufen wird, daß die Kraft oder das Wasserrad an einer Seite, die Last oder das Stirnrad an der andern Seite der Welle angebracht ist; und es ist deshalb in dieser Hinsicht auch vortheilhaft, das Zahnrad möglichst dicht neben das Wasserrad, also außerhalb des Gebäudes anzubringen, obgleich andere Gründe, namentlich Uebelstände durch aufrierendes Eis oder dergl., sowie eine für die Arbeitsmaschinen passendere Transmissionsanordnung dafür sprechen können, mit der Wasserradwelle bis ins Gebäude hineinzugehen, und diese dann entsprechend stärker zu machen.—

Auch die Armsysteme eines Rades werden in verschiedener Weise in Anspruch genommen; bei der Konstruktion **Taf. III, Fig. 1, Taf. VIII, Fig. 7,** haben die Arme nur das Gewicht des Rades zu tragen, und die Diagonalstangen (vorstehend genannte Figuren und **Taf. VII, Fig. 4**) schützen gegen Seitenschwankungen; bei der Konstruktion **Taf. VI, Fig. 5, Taf. VII, Fig. 6,** oder dergleichen haben die Armsysteme auch noch die Nutzleistung an die Welle zu übertragen. — Dabei ist dasjenige Armsystem stärker belastet, an dessen Seite der Zahnkranz direkt angebracht ist. —

§. 25.

Berechnung der Dimensionen einzelner Theile.

1. Zapfenstärke. Die langsam umgehenden Wasserräder versieht man mit kurzen Zapfen, weil sie nicht so leicht abbrechen, als

lange; es ist selten der Quotient $\frac{l}{d}$ $\left(\frac{\text{Länge}}{\text{Durchmesser}}\right)$ größer als der Werth 1,25. — Unter dieser Voraussetzung ist, wenn P der Druck auf den Zapfen und d der Durchmesser; für Gußeisen 42 Kil. pro □Met. oder 575 Pfd. pro □″ angenommen.

$d = 0{,}18 \sqrt{P}$ Centim.	$= 0{,}046 \cdot \sqrt{P}$ Zoll
oder $P = 33 \cdot d^2$ Kilogr.	$= 472 \cdot d^2$ Pfund.

Für Schmiedeeisen 75 Kil. pro □Centim. oder 1026 Pfd. pro □″

$d = 0{,}13 \sqrt{P}$ Centim.	$= 0{,}033 \sqrt{P}$ Zoll
$P = 59 \cdot d^2$ Kilogr.	$= 909 \cdot d^2$ Pfund.

2. Wellenstärke. Wenn die Formeln mit Rücksicht auf Torsion angenommen werden, so hat man, wenn das Gewicht des Wasserrades, oder

P die Last in Kilogr.	P in Pfunden
r der Hebelarm in Centim.	r in Zollen

N die Zahl der zu übertragenden Pferdestärken
n die Zahl der Umdrehungen pro Minute,

den Durchmesser für gußeiserne Wellen in den Grenzen von

$d_g = 0{,}35 \sqrt[3]{Pr}$ Centim.	$d_g = 0{,}14 \sqrt[3]{Pr}$ Zoll
$= 13{,}9 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$	$= 5{,}3 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$
bis $d_g = 0{,}48 \sqrt[3]{Pr}$	$d_g = 0{,}2 \sqrt[3]{Pr}$
$= 20{,}8 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$	$= 7{,}9 \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ zu nehmen.

Bei schmiedeeisernen oder gewalzten Wellen macht man

$$d_w = 0{,}85 \cdot d_g$$

für (runde) hölzerne Wasserradwellen $d_h = 3$ bis $4 \cdot d_g$.

Um eine hohle Welle zu bestimmen, ermittele man zuerst den Durchmesser D einer massiven Welle, und wenn dann $d_{,}$ der äußere Durchmesser und $d_{,,}$ der innere Durchmesser der hohlen Welle ist, so hat man

$$D^3 = \frac{d_{,}^4 - d_{,,}^4}{D}.$$

Für eine quadratische Welle hat man nach den Formeln für die Torsionsfestigkeit

$$0{,}196\, d^3 = 0{,}236\, b^3$$
$$b = 0{,}94 \cdot d,$$

wo d der Durchmesser einer runden Welle und b die Seite der quadratischen.

Wie schon erwähnt, müssen die Wellen je nach Uebertragung der Kraft und wenn sie ein großes Gewicht incl. des darin enthaltenen

Wassers haben, wie dies z. B. bei oberschlägigen Rädern der Fall ist, auch auf relative oder Biegungsfestigkeit berechnet werden *).

Wenn M das Biegungs- oder Spannungsmoment der Welle von der Länge l Zoll unter der Last P Pfund, Pr das Drehungsmoment, so ist für preuß. Maß mit Rücksicht auf vorhergegangene Bezeichnungen

$$d = 0{,}175 \cdot \alpha \cdot \sqrt[3]{Pr} \text{ Zoll}$$

$$\text{und } d = 0{,}120 \cdot \beta \cdot \sqrt[3]{M} \text{ Zoll.}$$

Wenn $\frac{M}{Pr} = \frac{1}{2}$	1	2	3	4	5
so ist $\alpha = 1{,}027$	1,055	1,112	1,170	1,226	1,281
Wenn $\frac{Pr}{M} = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2
so ist $\beta = 1{,}123$	1,284	1,419	1,535	1,726	1,882

Außerdem ist **Fig. 7, Taf. VI,** zu berücksichtigen: wenn der Querschnitt C dieselbe Sicherheit gewähren soll, wie der an der Anfangsstelle G des Zapfens, so verhält sich

$$Pl : Pc = \frac{\pi}{32} d^3 : \frac{\pi}{32} D^3$$

$$\text{oder } D = d \sqrt[3]{\frac{c}{l}}$$

Das Axenstück von G nach C müßte nach einer kubischen Parabel gekrümmt werden, man macht es aber nach einem Kegel. — Das Mittelstück zwischen C und C' muß überall die gleiche Festigkeit haben, deshalb cylindrisch oder eine entsprechende Rippenkonstruktion. **(Taf. III, Fig. 1 u. 5.)**

3. Armstärke. Man bestimme zuerst, wieviel jedes Armsystem zu übertragen hat, die Anzahl der Arme eines Systems wird weniger durch Rechnung als nach dem praktischen Gefühl gefunden. Dann berechne man sich den Durchmesser einer schmiedeeisernen Welle, mit derselben Anzahl Umdrehungen, die das Wasserrad hat, und die so viel Effekt überträgt, als das entsprechende Armsystem. —

Wenn dann die Anzahl der Arme

A =	4	6	8	10	12
so ist $\frac{h}{d} =$	1,08	0,94	0,86	0,79	0,75

wobei h die Höhe des Armes, an der Nabe und rechtwinklig auf die Längenrichtung desselben gemessen, so wie d der Durchmesser der gedachten Welle ist. —

Die Stärke b macht man bei gußeisernen gleich $\frac{1}{5}$ h und bei hölzernen = $\frac{2}{3}$ h. — Die Breite der Nebenrippe bei gußeisernen Armen ist entweder gleich oder etwas kleiner als h. —

*) Neumann, „Führer des Technikers." Weimar, Voigt. 1867.

4. Kranzstärke. Wir haben schon in §. 20 bemerkt, daß hölzerne Kränze wenigstens aus 2 Felgenlagen hergestellt werden. — Meistens ist die innere Lage aus dem schon angeführten Grunde etwas stärker als die äußere. — Beide Lagen zusammen haben selten weniger als $2\frac{1}{2}$ Zoll (6,5 Ctm.), meistens 3 Zoll (8 Ctm.) und höchstens etwa 5 Zoll (13 Ctm.). — Bei gußeisernen Kränzen variirt die Stärke von etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{3}$ Zoll (2 — 3,5 Ctm.) und schmiedeeiserne Kränze haben etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll (0,7 — 1,3 Ctm.) Stärke.—

5. Schaufeln. Die Stärke der hölzernen Schaufeln ist etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$" (2,5 — 4 Ctm.), bei oberschlägigen Rädern geht man wohl auch bis $\frac{3}{4}$" (2 Ctm.) herab, weil, wie später noch näher besprochen wird, eine dünne Schaufel für den Eintritt des Wassers in das Rad vortheilhaft ist. — Aus diesem Grunde ist es jetzt üblich geworden, oberschlägige Räder mit Blechschaufeln zu versehen, die dann eine Stärke von $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ Zoll (3 — 7 Millimet.) erhalten, je nach ihrer Länge, und es legen sich dieselben, der größeren Steifigkeit wegen, manchmal doch an durchgezogene eiserne Bolzen. — Wenn die Räder einen Boden erhalten, so kann derselbe ebenfalls von Holz oder Eisenblech sein, bei denselben Stärken, wie vorher angegeben. —

§. 26.

Oberschlägige Räder.

Bei denselben ist das Gefälle größer als der Durchmesser oder die Höhe des Rades; das Wasser tritt am Scheitel des Rades ein und verläßt das Rad möglichst nahe seinem untersten tiefsten Punkte, je vollkommener dieser Einfluß und je später das Ausgießen der Zellen anfängt, desto höher ist der Nutzeffekt, welchen das Rad giebt. Oberschlägige Räder erhalten eine geringe Zahl von Umdrehungen, also eine kleine Umfangsgeschwindigkeit, weil sonst die Centrifugalkraft ein Ausspritzen des Wassers und der Zellen befördert. — Es ist nach Erfahrung zweckmäßig, nicht mehr als 5 Fuß (1,57 Meter) Umfangsgeschwindigkeit pro Sekunde zu geben, obschon in einzelnen Fällen und besonderen Gründen und auf Kosten des Nutzeffektes diese Geschwindigkeit bei manchen Rädern bis auf 10 Fuß steigt — Andererseits um die Zahl der Umdrehungen nicht zu klein zu erhalten (weil man sonst mehr Räderwerk brauchen würde zur Uebertragung der Kraft an die Transmission für die Arbeitsmaschinen), geht man auch nicht unter $2\frac{1}{2}$ Fuß Umfangsgeschwindigkeit. — Da nun die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers zusammenhängt mit der Peripheriegeschwindigkeit des Rades, so muß man so wenig als möglich Gefälle zur Erzeugung der erstern verwenden, dies wird erreicht durch die schon in §. 22 erwähnte Konstruktion des Zuführungsgerinnes. — Zwei andere wichtige Verhältnisse des Rades sind die Kranzbreite oder Radtiefe a und die Radbreite b. Man macht a, je nach dem Wasserquantum, 6, 8, 10 bis 12 Zoll, selten 14 Zoll; denn bei einem schmalen Kranze wirkt das Wasser an einem größeren Hebelsarme als bei gleich großem Rade mit breitem Kranze, abgesehen von dem größern Holzverschnitt, je tiefer der Kranz wird.

Die Breite des Rades bestimmt sich nun nach dem Wasserquantum, denn wenn c die Radgeschwindigkeit, so hat man den pro Sekunde dem eintretenden Wasser dargebotenen Fassungsraum

$= a\,b\,c$

Da nun aber eines Theils die Schaufeln selbst eine bestimmte Stärke haben, und es auch wegen des Ausfließens nicht gut ist, die Zellen ganz mit Wasser zu füllen, so setzt man bald bei der Berechnung diesen Fassungsraum = 2 bis 4 Q, wobei man sich in derjenigen Grenze hält, welche Radbreiten giebt, die den jedesmaligen Verhältnissen entsprechen, denn je breiter die Räder gemacht werden, desto theurer ist die Herstellung derselben.

Es ist ferner einzusehen, daß das Wasser desto länger im Rade zurückgehalten wird, je mehr Zellen vorhanden, und hierin liegt der Vortheil der Blechschaufeln gegenüber den hölzernen, weil durch erstere bei einer etwas größern Anzahl der Fassungsraum nicht so verringert wird als bei hölzernen. —

Aus dem Winkel, welchen das letzte Schaufelelement mit der Tangente bildet (circa 10°), und der zu berechnenden Strahldicke bestimmt man die Anzahl der Schaufeln; meistens nimmt man dieselbe auch gleich 5—6 R, wenn R der Halbmesser des Rades in Fußen.

Bei gleichem Einlaßgefälle ist die Eintrittsgeschwindigkeit so ziemlich dieselbe, das Wasser mag frei einfallen oder aus einer Schütze ins Rad gelangen, so daß man daher wohl durch eine Spannschütze ein besseres Reguliren erreicht, aber keineswegs eine Effektvermehrung, wie vielfach, jedoch mit Unrecht, angegeben wird

Bei einem oberschlägigen Rade findet wegen des großen Gewichts des mit Wasser gefüllten Rades ein starker Druck auf die Wellzapfen statt; hierzu kommt noch, daß in den ersten Zellen dieses Wassergewicht weniger auf Drehung wirkt, als einen vertikalen Druck auf die Zapfen äußert.

Berücksichtigt man die Gefällverluste am Eintritt, sowie den Verlust durch das Ausgießen, bevor der Unterwasserspiegel erreicht ist, nebst der Reibung, so wird man erfahrungsmäßig nur auf höchstens 66% Nutzeffekt rechnen dürfen, von der absoluten Leistung, welche dem Totalgefälle entspräche. In der Regel wird 70% angegeben, dies dürfte aber zu den Ausnahmen gehören, wenn überhaupt erreichbar.

Oberschlägiges Wasserrad.

(Taf. IV, Fig. 1 u. 2.)

Dasselbe ist von Holz konstruirt und mit Blechschaufel versehen, die Arme b sind als Sattelarme um die Welle a gelegt; die gußeisernen angeschraubten Winkel d dienen nicht blos zur größern Festigkeit des Armkreuzes, sondern ermöglichen auch in einer sehr einfachen Weise eine Seitenverstrebung des Rades vermittelst der schmiedeeisernen Rundstangen c. — Die Schaufeln sind, wie gesagt, aus Blech, vorher nach der richtigen Form gebogen und dann in die Nuthen eingesetzt, welche in der inneren Felgenlage, der Schaufelkurve entsprechend, ausgestochen wurden. Beide Radkränze werden nicht blos durch die Schrauben i zusammengezogen, welche die Arme b an die Kränze be-

festigen, es sind auch noch andere Schrauben i_1 angebracht, welche nur dazu dienen, die Kränze mit den Schaufeln zusammenzuhalten. — Der hölzerne Boden des Rades ist aus einzelnen Bretern hergestellt, und von innen an die Radkränze befestigt. — Auf der Welle wird das ganze Rad mit hölzernen Keilen centrirt und fest aufgekeilt. —

Um die Schütze so nahe als möglich an die Eintrittsstelle bringen zu können, ist der Balken k aus Gußeisen und mit den Wänden e der Schütze verbunden, welche für einen dichten Schluß am besten gehobelt werden, ebenso wie das gußeiserne Schutzbret, dessen Zahnstange f mit dem Getriebe g in Eingriff steht; die Welle geht am besten bis nach dem Innern des Gebäudes ein, wo durch eine Kurbel die Schütze auf- und abbewegt werden kann; sie kann aber auch von außen gedreht werden. — Der Balken h dient zur Befestigung des kleinen Trägers von Gußeisen, welcher die Welle trägt.

Das Gefälle beträgt 15 Fuß (4,7 Meter), die Wassermenge $6\frac{1}{4}$ Kubikfuß (0,194 Kubikmeter) pro Sekunde. Das Rad hat einen Durchmesser von $13\frac{1}{2}$ Fuß (4,24 Meter) und eine lichte Breite von $4\frac{1}{2}$ Fuß (1,41 Meter), wobei die Zellen zu $\frac{1}{3}$ gefüllt werden. Es sind 40 Schaufeln gezeichnet, jedoch könnte man auch wohl 45 annehmen, ohne daß dieselben zu enge an einander stünden. — Die Anzahl der Umdrehungen des Rades sind 7 pro Minute, wobei eine Umfangsgeschwindigkeit von 5 Fuß pro Sekunde angenommen ist. — Die Leistung des Rades berechnet sich bei $66\frac{2}{3}$ Nutzeffekt durch die Formel

$$N_n = \frac{0{,}66 \cdot 6\frac{1}{4} \cdot 15 \cdot 61{,}75}{480} = 8 \text{ Pferdestärken.}$$

Würde ein solches oberschlägiges Rad Holzschaufeln erhalten, wie **Fig. 6, Taf. IV**, zeigt, so nennt man den äußern Theil AB die Stoßschaufel und den innern BC die Riegelschaufel. — AA_1 oder DD_1 ist die Schaufeltheilung am äußern Umfange = e und AD_1 die Ueberdeckung, gewöhnlich = $\frac{1}{4}$ e, also AD oder der Bogen, welcher eine Stoßschaufel am äußern Umfange einnimmt = $1\frac{1}{4}$ e. — Man nimmt auch die Länge der Riegelschaufel BC = $\frac{1}{2}$ a, unter a die Kranzbreite oder Radtiefe verstanden. —

Oberschlägiges Wasserrad auf Tafel III *).

Dasselbe dient zum Betriebe der Spinnerei der Herren Lerch und Diehm in Lauterbach. Es ist, mit Ausnahme von 7 hölzernen Armen, ganz in Eisen ausgeführt. —

Auf der gußeisernen Welle a sind zwei Naben b aufgesetzt, Welle und Nabe sind genau gedreht, und mit je zwei Keilen befestigt. In jeder dieser Naben oder Rosetten sind zunächst 10 hölzerne Arme c und ebensoviele radiale Rundeisenstangen d, ferner noch 10 Diagonalstangen e; durch diese Armkonstruktion wird Kranz und Nabe mit einander verbunden, auch das Rad gegen Seitenschwankungen geschützt, die beiden Kränze sind außerdem noch durch Umfangsstangen f mit einander verbunden. — Jeder Kranz ist aus 10 gußeisernen Segmen-

*) Sammlung von Zeichnungen der „Hütte". Jahrgang 1864. Tafel 38.

ten in der gezeichneten Weise zusammengesetzt, und der Zahnkranz g an der nach dem Gebäude liegenden Seite des Wasserrades angeschraubt, von welchem aus vermittelst des Getriebes h die Bewegung der Transmissionswelle i mitgetheilt wird. — Das Rad besitzt 70 Blechschaufeln, welche mit den entsprechend angegossenen Rändern oder Flantschen der Kränze durch Schrauben befestigt sind, sowie 70 gußeiserne Bodentafeln. — Die Verbindung der Arme mit den Segmenten der Kränze ist namentlich aus **Fig. 2** u. **6** ersichtlich. —

Die Endzapfen der Welle a liegen in den beiden offenen Lagern k, welche mit Metallpfannen versehen, und auf Sohlplatten geschraubt sind, von denen jede wiederum mit 4 Fundamentschrauben auf große Quadersteine befestigt ist, die mit dem Mauerwerk in fester Verbindung sich befinden. (**Fig. 1 u. 7.**) —

Der Schützenzug, sowie die sogenannte Schußrinne ist aus **Fig. 2** genau ersichtlich; letztere ist sehr wenig schräg, so daß vom Oberwasserspiegel bis Radscheitel nur 0,455 Meter (17¾ Zoll) sind und das Wasser mit einer geringen Geschwindigkeit in das Rad gelangt, in Folge dessen das Rad nur 4 Umdrehungen pro Minute erhält bei einem äußern Durchmesser von 7,5 Meter oder 23,896 Fuß. — Da das Radtiefste etwa 7 Centimeter oder 2¾ Zoll über dem Unterwasserspiegel ist, so beträgt das ganze Gefälle zusammen 8,025 Meter (25,57 Fuß). — Die lichte Breite des Rades beträgt 1,5 Meter (4,779 Fuß), die Wassermenge Q ist im Mittel zu 0,187 Kubikmeter (6 Kubikfuß) anzunehmen, wobei das Rad mit ¼ Füllung arbeitet und bei einem Nutzeffekt von 66% eine Leistung von 13 Pferdestärken hat; bei einer Wassermenge von 0,28 Kubikmeter (9 Kubikfuß) und ½ Schaufelfüllung mit 66% Nutzeffekt dagegen 20 Pferdestärken überträgt. —

Die schmiedeeiserne Transmissionswelle i hat bei dem Uebersetzungsverhältniß von **1 : 7** pro Minute 28 Umdrehungen.

Oberschlägige Wasserräder bei Hammerwerken.

Bei Hammerwerken läßt man die oberschlägigen Räder mit einer sehr großen Geschwindigkeit laufen, in Folge dessen viel Wasser verspritzt, der Nutzeffekt also ein sehr kleiner ist; man wählte bis jetzt demohngeachtet diese Anordnung, weil bei derselben weiter keine Transmissionstheile nöthig sind, indem die Wasserradwelle zugleich Daumenwelle ist, so daß Betriebsstörungen wegen Brechens einzelner Theile möglichst vermieden sind. Ueber solche Wasserräder hat Röntgen Mittheilungen gemacht *): Es sind kleine oberschlägige Räder mit 16 ganz ebenen, an der äußern Peripherie unter 41 bis 42 Grad gegen den Radhalbmesser geneigten hölzernen Schaufeln; bei 13 bis 20 Fuß Gefälle haben sie gleichwohl nur 8 bis 9 Fuß Durchmesser, so daß also 0,4 bis 0,5 (und darüber) des ganzen Gefälles auf Erzeugung der Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers verwendet wird. — Diese

*) Ueber die Wirkung der in der Gemeinde Remscheid und Umgegend bei Hammerwerken und Schleifkotten gebräuchlichen Wasserräder: Dingler's pol. Journ. 1860. Bd. 158. S. 81. — Zeitschrift des Vereins deutscher Ingen. Bd. **VI.** 1862. S. 69.

abnormen und für den Wirkungsgrad ungünstigen Verhältnisse sind dadurch bedingt, daß die Radwelle unmittelbar als Daumenwelle benutzt wird, und da bei 10 auf der Welle sitzenden Daumen der Stahlraffinirhammer bei normalem Betriebe bis 360 Schläge pro Minute machen muß, so hat das Rad 36 Umdrehungen zu machen, entsprechend einer Peripheriegeschwindigkeit von 16 Fuß bei $8\frac{1}{2}$ Fuß Durchmesser des Rades. — Die Zellen werden also so gut wie gar kein Wasser halten können, die Druckwirkung geht folglich ganz verloren. — Außerdem ist die vorzugsweise Benutzung der Stoßwirkung im vorliegenden Falle dadurch motivirt, daß sie ein durchaus nöthiges schnelles Anlaufen des Rades, d. h. die Möglichkeit herbeiführt, dem Hammer in wenig Augenblicken einen schnellern oder langsamern Gang zu ertheilen. — Durch Bremsversuche ist nur ein Wirkungsgrad von 0,37 bis 0,46 ermittelt worden, wenn die Räder 7 — 10 Fuß Peripheriegeschwindigkeit hatten, bei der fast doppelt großen wird also der Wirkungsgrad noch weiter herabgehen. —

Da ein langsamer Gang des Wasserrades und die Uebertragang durch ein Rädervorgelege an die Daumenwelle wegen der fortwährenden Stöße häufige Brüche herbeigeführt hat, so ist man von solchen Einrichtungen wieder zurückgekommen, und Röntgen empfiehlt in seiner Abhandlung Folgendes:

1) Für die senkrechte Höhe der Schußrinne genügen bei unveränderter Neigung von circa 30 Grad doch 4 bis 5 Zoll vollkommen, während jetzt $1\frac{1}{2}$ bis 2 Fuß darauf verwendet werden. —

2) Die Breite der Räder ist von 3 bis 4 Fuß auf 5 bis 6 Fuß zu erhöhen, um die Dicke des Strahles und den Füllungskoefficienten des Rades zu vermindern.

3) Anstatt der hölzernen Schaufeln sind Blechschaufeln zu wählen, damit ihre Anzahl um etwa den 4ten Theil vermehrt werden kann.

4) Die wesentlichste Verbesserung würde bei derselben Einfachheit darin bestehen, daß man anstatt 10 Daumen deren 15 bis 18 nähme, dann könnte bei derselben Zahl von Hammerschlägen das Rad nur 24 bis 20 Umdrehungen anstatt 36 machen. Die größere Zahl von Daumen wäre in einem um die Welle gelegten hölzernen oder gußstählernen Ringe zu befestigen. —

Turbinen hält Röntgen zum Ersatz solcher oberschlägiger Räder für ungeeignet, trotzdem glaubt der Verfasser dieses Buches, daß für ein Hammerwerk eine Turbine mit horizontaler Welle sehr wohl brauchbar sein könnte, wenn die solid ausgeführte Turbinenwelle mit der Daumenwelle zusammengekuppelt und mit einem angemessenen Schwungrade versehen würde. —

§. 27.

Rückenschlägige Wasserräder.

Da diese Räder in derselben Richtung umgehen, in welcher das Wasser abfließt, so sind sie zunächst überall da den oberschlägigen Rädern vorzuziehen, wo Stauwasser zu befürchten ist. — Sie haben

aber noch einen andern großen Vortheil vor den oberschlägigen Rädern, und dieser besteht darin, daß das Wasser an einem Punkte ins Rad tritt, wo dasselbe ohne Weiteres auf Drehung wirkt. — Es läßt sich erfahrungsmäßig mit rückenschlägigen Rädern bei guter Ausführung ein besserer Nutzeffekt erreichen, als mit oberschlägigen; und es wird derselbe noch erhöht durch Anwendung eines Mantels (Kropfes) und durch Blechschaufeln. —

Die Bedingungen für die Umfangsgeschwindigkeit, Eintritt des Wassers, sind dieselben wie beim oberschlägigen Rade; die Schaufelfüllung wird ebenfalls zu $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ angenommen. — Der Nutzeffekt läßt sich zu 70% annehmen. —

Rückenschlägiges Wasserrad. Taf. IV, Fig. 3 u. 4.

Mit Ausnahme der gußeisernen Nabe und der Blechschaufeln ist dasselbe von Holz hergestellt — Das Rad ist auf den Schemmel gebaut; die Stücke a sind mit den aus 2 Felgen bestehenden 3 Radkränzen durch sogenannte Blattbolzen b verschraubt, die Arme b sind darin verzapft und durch Winkel noch verbunden. — Für jedes aus 6 Armen bestehende Armkreuz ist auf der Wasserradwelle eine gußeiserne Nabe aufgekeilt. Die Seitenverstrebung ist nur einmal hergestellt zwischen zwei korrespondirenden Armen, im Ganzen also nur 6 Strebestangen, von denen c rechtes und c_1 linkes Gewinde haben und also durch das Mutterstück d beliebig gespannt werden können. — Die Befestigung der Blechschaufeln geschieht der Art, daß die Kurven in die Radkränze eingerissen sind, in welche die Blechschaufeln gesteckt worden, worauf die Kränze durch schmiedeeiserne Stangen e, welche an den Enden Schraubengewinde haben, zusammenzuhalten sind. — Die Zuführung des Wassers geschieht durch eine Schütze mit Leitschaufeln oder Koulissen; zur Abhaltung von Strauchwerk und dergleichen ist es immer gut, einen Rechen aufzustellen. —

Die Luft kann bei solchen Schützen weniger leicht entweichen, es ist deshalb am einfachsten, die Schütze schmäler als das Rad zu machen, überhaupt das Rad mit geringer Füllung arbeiten zu lassen, damit die Luft an den Seiten entweichen kann. — Statt dessen kann man auch den Radboden mit Luftlöchern versehen, und sollte durch dieselben zu viel Wasser gehen, kann man kleine nach oben gebogene Blechröhrchen darin befestigen, oder man kann zwischen den einzelnen Bretern des Radbodens einen kleinen Zwischenraum lassen, und über die ganze Breite den Schluß durch einen schräg gestellten Streifen Blech oder ein Bret bewirken. — Die Art der Wassereinführung bewirkt, daß die Schaufeln mit der Tangente keinen kleinern Winkel als etwa 20 Grad bilden, und deshalb ist es zweckmäßig, das Wasser im Rade durch einen Mantel (Kropf) zurückzuhalten. — In vorliegender Zeichnung ist derselbe gemauert, und es wird die vorderste oder oberste Lage am besten in Cement ausgeführt. —

Das Rad ist für 12 Fuß Gefälle und 11 Kubikfuß Wasser pro Sekunde konstruirt, hat einen äußern Durchmesser von 14 Fuß, und eine lichte Breite von 6,6 Fuß. — Der Kranz hat 48 Blechschaufeln und radial gemessen eine Radtiefe von 1 Fuß. — Die Anzahl der

Umdrehungen ist 6,82 pro Minute und die Leistung berechnet sich bei 70% zu 12 Pferdestärken.

Rückenschlägiges Rad.

(Taf. VII. Fig. 4*).

Diese Figur stellt nur einen Theil eines solchen Rades dar, dessen Kranz ganz aus Eisenblech hergestellt ist, und bei welchem jede Schaufel als eine für sich bestehende Zelle konstruirt ist. — Das Rad für 5 Meter (15,93 Fuß) Gefälle und 0,9 Kubikmeter (29 Kubikfuß) Wasser pro Sekunde konstruirt, hat einen Durchmesser von 6,6 Meter und einen Nutzeffekt von 45 Pferdestärken. Die lichte Breite ist 4,25 Meter (14,54 Fuß) und die Tiefe des Kranzes (radial) 0,42 Meter, wobei das Rad mit ¼ Füllung arbeitet, bei 45 Zellen. — Das Rad, ganz aus Eisen, ist nach dem Suspensionsprincip gebaut, d. die Kraft geht nicht durch die Welle, sondern wird durch einen (hier nicht gezeichneten) am Kranze angeschraubten Zahnkranz an ein Getriebe und Transmissionswelle übertragen. — Axe und Rosetten sind aus Gußeisen, die Radialstangen a, Diagonalstangen b und Umfangsstangen c sind von Schmiedeeisen. — Das Wasser wird durch eine (nicht gezeichnete) Koulissenschütze zugeführt, und hat einen hölzernen Mantel, der auf 3 gußeisernen Trägern ruht, einem mittlern T_1 und zwei äußern T, die auch im Durchschnitt angegeben sind.

Wasserrad mit innerer Beaufschlagung.

(Taf. VII. Fig. 1.)

Dieses Rad wollen wir ebenfalls den rückenschlägigen beizählen, obgleich die Wasserzuführung eine eigenthümliche, die wir innere Beaufschlagung nennen können. Es ist konstruirt von dem französischen Ingenieur Millot**) und zeichnet sich durch eine ganz zweckmäßige Schaufelkonstruktion aus, da die Zuführung an der inneren Seite, der Abfluß des Wassers außen stattfindet, die Schaufeln also jeder dieser Bedingungen entsprechend konstruirt werden können, ohne daß die eine störend für die andere einwirkt. — Das Wasser wird durch Ueberfallschütze zugeleitet, die Blechschaufeln gehen von der innern Peripherie des Kranzes aus, sich zellenförmig biegend, und endigen unter einem sehr kleinen Winkel gegen die äußere Peripherie des Rades. — Diese Einrichtung bietet viele Vortheile, jedoch den Nachtheil, daß wegen der innern Zuführung die Arme nur einseitig an einem Kranze zu befestigen sind, es müssen deshalb die Schaufeln den zweiten Kranz mit tragen helfen, und finden sich aus diesem Grunde deshalb auch, jedem Arm entsprechend, einzelne gußeiserne Schaufeln s eingelegt, welche eine festere Verbindung gestatten. — Wegen dieser eigenthümlichen Konstruktion des Kranzes kann man dieselbe auch nur anwenden, wenn

*) Zeichnungen der Karlsruher Maschinenbauschule 1859—60.

) Das Rad findet sich beschrieben und abgebildet: **Laffineur, Roues hydrauliques. Paris 1867; auch giebt bereits Weisbach in seiner Mechanik die Skizze einer solchen Beaufschlagungsweise.

die Wassermenge nur gering ist, das Rad also nur eine geringe Breite erhält; ist hier aber sehr zu empfehlen, da es eine viel bessere Ausnutzung der vorhandenen Kraft ermöglicht, als mit den sonst üblichen rücken- und oberschlägigen Rädern, weil es weit später ausgießt als diese, und auch bei den fast in der Peripherie auslaufenden Schaufeln ein Boden des Wassers im Untergraben weniger nachtheilig ist als bei andern Rädern. —

§. 28.

Mittelschlägige und unterschlägige Kropfräder.

Diese Räder werden nur mit dem Kropfe gebaut; und dabei erhalten die mittelschlägigen Räder meistens eine Ueberfallschütze, die unterschlägigen eine Spannschütze. — Das Wasser übt beim Eintritt ins Rad eine Stoßwirkung, wirkt aber dann im Verlaufe der Umdrehung des Rades durch sein Gewicht, indem ein zu frühes Auslaufen desselben durch den Kropf verhindert wird. Es wird zunächst vortheilhaft sein, die Stoßwirkung so klein als möglich zu machen, d. h. der Wasserstand vor der Schütze wird immer nur so hoch anzunehmen sein, als er zur Erzeugung der passenden Eintrittsgeschwindigkeit nöthig ist, und es wird dieselbe zu 10 bis 12 Fuß pro Sekunde angenommen bei einer Umfangsgeschwindigkeit des Rades von circa 6 Fuß. — Es ist zweitens erforderlich, daß der Umfang zwischen Rad und Kropf so klein als möglich gemacht wird, indessen bei ganz eisernen Rädern und gemauertem Kropf und auch bei Aufstellung eines Rechens vor der Schütze zum Abhalten von Eis, Holzstücken u. dergl. wird dieser Spielraum nicht unter $\frac{1}{2}$ Zoll betragen, in den meisten Fällen, namentlich bei hölzernen Rädern und Kropf wird sogar 1 Zoll schon ein geringes Maß sein und oftmals wird der Spielraum noch größer sein. — Wegen dieses nun einmal unvermeidlichen Spielraumes wird es, entgegengesetzt den oberschlägigen Rädern, vortheilhaft sein, das Rad nicht allzubreit zu nehmen, daraus ergiebt sich eine größere Radtiefe oder Höhe des Kranzes in radialer Richtung, und deshalb können diese Räder, mit Rücksicht auf schon früher Besprochenes, am vortheilhaftesten als Strauberräder ausgeführt werden. — Die anderweitige Ausführung und Einrichtung der Kropfgerinne ist bereits in §§. 9 und 22 beschrieben.

Für das möglichst lange Zurückhalten des Wassers empfiehlt sich außer dem Kropfe noch eine große Schaufelzahl; gewöhnlich nimmt man die Schaufeltheilung an der äußern Peripherie gleich der Schaufelhöhe; auch dürfen die Räder keinen ganz geschlossenen Radboden erhalten, damit die Luft nach innen entweichen kann, da dies nach außen hin nicht möglich ist. — Da man die Schaufeln meistens plan macht (selten aus zwei Bretern, die einen Winkel bilden, einer Zelle vergleichbar), so stellt man sie um so viel schief, d. h. vom Radius abweichend, daß sie beim Austreten aus dem Unterwasser eine möglichst vertikale Lage haben.

Die Leitschaufel bei der Ueberfallschütze oder die Abrundung des Fachbaumes resp. des Kropfes bei einer Spannschütze ist nach der Parabel auszuführen, deren Koordinaten von der Höhe des Wasser-

standes abhängig sind; denn da der Wasserstrahl in dieser Kurve fließt, würde er entweder frei ausfließen, wenn Leitschaufel oder Kropf stärker gekrümmt werden, oder wenn diese weniger gekrümmt wären, würde die Reibung des Wassers vermehrt werden.

Man kann bei mittelschlägigen Kropfrädern einen Nutzeffekt von 55%, und bei unterschlägigen Kropfrädern guter Ausführung einen Nutzeffekt von 40—45% rechnen, selten 50%, annehmen.

Wasserrad der Mahlmühle in Mögeldorf bei Nürnberg.*)

(Taf. V.)

Die Wasserkraft hat eine effektive Leistung von 60 Pferdestärken, und wird durch drei unterschlägige Kropfräder übertragen, welche in getrennten Rinnen sich befinden. Der Durchmesser jedes Rades ist 21 Fuß bairisch (6,132 Meter). Die Breite des ersten und dritten Rades ist wie in der Zeichnung 5½′ (1,6 Meter), und jedes derselben treibt 4 Mahlgänge von 4,466′ bairisch oder 1,3 Meter Steindurchmesser; — das mittlere dagegen hat 7 Fuß Schaufelbreite und treibt außer 4 Mahlgängen noch die Transmission für die Hülsmaschinen. Jedes Rad macht 9 Umdrehungen pro Minute, und es befindet sich auf der Wasserradwelle innerhalb des Gebäudes ein konisches Rad, welches die Kraft an die Transmission weiter trägt.

Mit Bezug auf **Taf. V** ist noch zu erwähnen, daß die Welle von Schmiedeeisen und mit zwei gußeisernen Rosetten oder Naben versehen ist, an welcher die hölzernen Arme befestigt sind, die wieder mittels Zapfen in die Kränze gesteckt sind. Die letzteren sind in früher schon beschriebener Weise hergestellt und tragen die hölzernen Stelzen mit den Schaufelbretern, welche hier nicht an die Stelzen genagelt oder geschraubt, sondern mittels Biegeln und Keilen befestigt sind, wie dies in der Figur deutlich angegeben ist.

Statt eines hölzernen Kranzes möchte ein eiserner wie in **Fig. 2, Taf. VII** den Vorzug verdienen, ohne daß deshalb an den Armen, Stelzen und Schaufelbretern etwas abzuändern wäre.

Unterschlägiges Kropfrad.

(Tafel VII, Figur 5 und 6.)**

Dasselbe ist ganz von Eisen gebaut mit Ausnahme der hölzernen Schaufelbreter, der Kropf ist ebenfalls von Holz und ist das Rad mit Spannschütze versehen, die durch Leitstangen geführt wird. — Die gußeiserne Welle, **Fig. 5**, ruht wie gewöhnlich mit ihren beiden Endzapfen in Lagern, und hat 3 abgedrehte Sitze für gußeiserne Radnaben, da das Rad drei Armsysteme und Kränze hat; jedes Armsystem hat 8 gußeiserne Arme, und ist mit den aus 8 Segmenten bestehenden gußeisernen Kränzen zusammengeschraubt; an jedes Segment sind 4 Stelzen angegossen, so daß das als Strauberrad gebaute Rad 32 Schaufeln hat. — Die Fortpflanzung der Kraft geschieht durch

*) Die Mahlmühle findet sich genau beschrieben und gezeichnet in Neumann „Mahlmühlenbetrieb;“ Weimar, B. F. Voigt, 1864.

**) Zeichnungen der Karlsruher Maschinenbauschule 1859—60.

einen an das äußere Armsystem angeschraubten Radkranz mit innerer Verzahnung, in den ein Getriebe auf der ersten Transmissionswelle greift. —

Die Wassermenge beträgt pro Sekunde 1⅓ Kubikmeter (43,12 Kubikfuß). Das Gefälle ist 1,5 Meter (4,78 Fuß). Der äußere Durchmesser des Rades ist 6 Meter (19 Fuß). Die Breite der Schaufeln 2,39 Meter (7,6 Fuß). Die Umfangsgeschwindigkeit ist mit 2 Meter (6,37 Fuß) pro Sekunde angenommen, und das absolute Arbeitsmoment berechnet sich zu 28 Pferdestärken, was eine Nutzleistung von 14 Pferden ergiebt, wenn der Wirkungsgrad 0,50 ist.

Unterschlägiges Kropfrad.

(Tafel VIII, Figur 6 bis 10.)

Dasselbe ist größtentheils in Eisen ausgeführt mit einem gemauerten Kropf und Ueberfallschütze versehen. — Die Welle D ist von Gußeisen, es sitzen auf derselben 2 Armkreuze E, die mit ihren Radkränzen einfach zusammengegossen sind, obschon der äußere Durchmesser desselben 4,2 Meter (12,38 Fuß) beträgt. In den Kränzen stecken die eisernen Stelzen G, welche so wie die Schaufelbreter (**Fig. 1 und 6**) so lang nach innerhalb vorstehen, daß das Rad keine Bodenschaufeln zu erhalten braucht. Die Schaufeln H sind mit Hakenschrauben in der gezeichneten Weise (**Fig. 9**) an die Stelzen befestigt. Die Stelzen können auch wie **Fig. 8** ausgeführt und befestigt werden und sind dann Bodenschaufeln erforderlich. — Der Zahnkranz e ist angeschraubt, hat innere Verzahnung und überträgt die Kraft vermittelst des Getriebes F an die Transmissionswelle.

Niedergefälle-Wasserrad.

(Taf. VIII, Fig. 11.)

Dieses unterschlägige Wasserrad ist konstruirt von Walter Zuppinger, Direktor der Filialmaschinenfabrik von Escher, Wyß und Komp. in Ravensburg (Württemberg).

Das Rad hat einen äußern Durchmesser von 4,72 Meter (15′) und 30 gekrümmten Schaufeln, deren radikale Höhe 1,37 Meter (4,365′) beträgt; es ist bis auf die Schaufeln ganz aus Eisen konstruirt. Hierdurch wird es leicht, das Rad mit Seitenwänden auszustatten, überhaupt ein Zellenrad zu schaffen und den Seitenkropfbau unnöthig zu machen.

Wie die Figur zeigt, ist eine bedeutende Eintauchung ins Wasser und eine große Strahlstärke des einlaufenden Wassers vorhanden, auch hat das Rad eine geringe Zahl von Umdrehungen *).

Zuppinger hat am 3. December 1865 in Zürich sorgfältige Bremsversuche angestellt mit zugehörigen gleichzeitigen Wassermessungen, mit einem Rade von 20,32′ schweizerisch (6,096 Meter) Durchmesser,

*) Prof. Rühlmann berechnet nach ihm vorliegenden Angaben in den Mittheilungen des Gew.Vereins für Hannover 1867, daß das Rad wahrscheinlich 5 Umdrehungen mache.

Ein ähnliches Rad, welches in frühern Jahren von Sagebien ausgeführt wurde, findet sich abgebildet **Fig. 1, Taf. XXII.**

5,926′ (1,778 Meter) Breite und 30 hölzernen Schaufeln, während im übrigen das Rad ganz aus Eisen konstruirt war.

Die Resultate dieser 5 Versuche sind nachstehend zusammengestellt:

Nummer des Versuches	I.	II.	III.	IV.	V.
Zahl der Pferdestärken mittels der Prony'schen Bremse erhalten, welche an der ersten Betriebswelle angebracht war	15,14	12,15	10,39	9,72	8,91
Wassermenge in Kubikfuß pro Sekunde mittels eines Woltmannschen Flügels ermittelt	75,1	70,63	63,53	49,80	50,60
Gefälle in Fußen	3,0	2,45	2,35	2,80	2,70
Absolutes Arbeitsmoment in Pferdestärken	24,33	18,69	16,16	15,06	14,24
Nutzeffekt in Procenten	62	65	64	64	62

Ein Uebelstand dieser Wasserräder, gegenüber den Turbinen, ist die geringe Zahl von Umdrehungen; auch ist im Allgemeinen die Anlage eines solchen Rades wegen seines großen Gewichtes kostspieliger, als eine Turbine, zuweilen ist indeß auch das Umgekehrte der Fall. Herr Zuppinger hat darüber Folgendes angegeben: Wen man z. B. zu einem Betriebe, wo 4 Fuß Gefälle vorhanden ist, pro Sekunde 100 Kubikfuß Wasser zur Disposition hat, so bedarf es einer Turbine von circa 10 Fuß Durchmesser bei einer Leistung von 30 Pferdestärken. — Kommt nun soviel Stauwasser, daß nur noch 2 Fuß Gefälle übrig bleiben, so wird diese Turbine nur noch 71 Kubikfuß Wasser konsumiren und, abgesehen von der nun unrichtigen Umlaufsgeschwindigkeit, nur noch 11 Pferdestärken entwickeln.

In solchem Zustande, wo nur noch 2 Fuß nutzbares Gefälle vorhanden ist, müßte man also drei Turbinen aufstellen, um die normale Arbeitsgröße von circa 30 Pferden zu erhalten. Auf solche Lokalitäten und auch bis 9′ Gefälle, wo öfters 3 bis 4 Fuß Stauwasser vorkommen, sind diese Wasserräder vorzuziehen, da sie annähernd dieselbe Geschwindigkeit behalten.

Schließlich wird noch in dem Aufsatze angegeben, daß Räder von 16 Fuß Durchmesser (4,8 Meter) und 8 Fuß Breite, ganz aus Eisen konstruirt, und nur hölzerne Schaufeln angewandt, franko Ravensburg circa 4500 Gulden (2570 Thlr.) kosten, größere Räder von 20 Fuß Durchmesser (6 Meter) und 10—13 Fuß Breite (3—3,9 Meter) kämen auf etwa 10000 Gulden (5714 Thlr.) zu stehen.

§. 29.

Ponceleträder (Taf. VII, Fig. 7).

Da die Leistung der unterschlägigen Räder einen so geringen Nutzeffekt giebt, so konstruirte Poncelet vor etwa 40 Jahren Räder mit gekrümmten Schaufeln, an welchen das Wasser fast gar keinen Stoß mehr ausüben soll, sondern nur durch Druck wirkt, indem es

nämlich mit einer bestimmten Geschwindigkeit an der Schaufel in die Höhe steigt, und wieder an derselben herabfällt.

Diese Räder haben sämmtlich einen kleinen Kropf, der meistens zwei Schaufeltheilungen umfaßt, und damit der Wasserverlust möglichst klein ausfällt, müßten gut ausgeführte Ponceleträder nur einen sehr geringen Spielraum haben, welches nur bei einem ganz eisernen Rade möglich ist, wobei dann allerdings erfahrungsmäßig 60 bis 65 Procent Nutzeffekt anzunehmen sind. — Solche Räder werden aber theurer, als gute Niederdruckturbinen, so daß man sie nur selten anwendet. Das im vorigen Paragraph beschriebene Wasserrad von Zuppinger kann als eine weitere Ausbildung der Poncelet-schen Konstruktion gelten. — Die Radtiefe oder die radiale Höhe des Kranzes ist bei diesen Rädern größer, als bei den sonstigen Radkonstruktionen, und variirt zwischen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ R. (Radius), wobei man R. zwischen $1\frac{1}{2}$ bis 2 H. annimmt.

§. 30.

Räder im geraden Gerinne. Pansterräder.

Diese Räder im geraden oder Schnurgerinne werden nur durch den Stoß des ankommenden Wassers gegen die Schaufeln in Bewegung gesetzt, und da sie meistens ein noch größeres Quantum unbenutzt entweichen lassen, so geben sie auch noch geringern Nutzeffekt als Kropfräder. — Der Zwischenraum zwischen Rad und Gerinne sollte 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll nicht übersteigen, besser aber noch geringer sein. — Bei der besten Wirkung des Rades nimmt das Wasser nach dem Stoße eine Geschwindigkeit an, die 0,4 von der des ankommenden Wassers ist; daher ist der fortfließende Strahl $2\frac{1}{2}$ mal so dick, als der ankommende nnd deshalb müssen die Radschaufeln circa $2\frac{1}{2}$ bis 3 mal so hoch gemacht werden, als der ankommende Strahl dick ist, welcher in den meisten Fällen die Stärke von 4 bis 6 Zoll hat.

Der Nutzeffekt eines solchen Rades ist nur 30% des absoluten Momentes, selten wird er bis 35% steigen. — Es fällt aber der Wasserverlust bei einem solchen Rade um so kleiner aus, je größer die Anzahl der eingetauchten Schaufeln ist, also je mehr Schaufeln das Rad überhaupt hat, d. h. je größer der Durchmesser (die Höhe) des Rades ist. — Die Neigung des Gerinnes ist meistens $\frac{1}{20}$, die Neigung der Schützen, wenn solche angebracht werden, 60 Grade.

Der Durchmesser der Räder variirt von 12 bis 24 Fuß (3,768 bis 7,5 Meter); die Schaufeln stehen entweder radial oder so viel schräg, daß sie im Augenblicke des Herausgehens aus dem Wasser eine vertikale Richtung haben.

Bei diesen Rädern im Schnurgerinne wendet man fast immer besondere Vorrichtungen zum Heben der Räder an, diese sind zweckmäßig einmal aus Rücksicht für das Stauwasser, anderseits weil in der Regel mehrere solche Räder hinter einander liegen, die durch ein Schließen der Schütze alle zum Stillstande kommen würden, während man durch Heben nur das eine ausrücken kann.

Solche Vorrichtungen nennt man Pansterzeug, und nur deshalb heißen die Räder Pansterräder; ihre Konstruktion und Berechnung ist genau so, wie die der andern Räder, und können sie sowohl als Staber, wie Strauberräder gebaut sein, die letztere Konstruktion ist die zweckmäßigere. — Die Pansterzeuge sind entweder Stock- oder Ziehpanster, und werden diese letzteren am meisten gebraucht. Die Ziehpanster sind entweder direkte oder Knie- (Hebel)-panster. **Fig. 7** und **8** auf **Taf. II** zeigt die Skizze eines direkten Ziehpansters, die Lager der Wasserradwelle ruhen an jeder Seite in einem Ziehgatter, welches in den Gattersäulen geführt wird. — Die Kette wickelt sich auf die Ziehwelle auf, a ist das Stirnrad, b das Getriebe und c das Spillrad; das Gerüst, auf welchem das Räderwerk ruht, ist hier innerhalb des Gebäudes.

Die Knie- oder Hebelpanster sind die bessern, besonders wenn die Kraft vom Wasserrade aus, wie dies meistens geschieht, durch Stirnräder fortgepflanzt wird. — Der Drehpunkt des Hebels muß in der Axe des Stirnrades liegen; der Endpunkt des Hebels wird durch eine Kette gezogen und zwar entweder durch ein Rädervorgelege mit Spillrad oder Kurbel, oder auch durch eine Schraube. — In **Fig. 3** und **4** auf **Taf. VI** ist ein solches Pansterzeug abgebildet in zwei Ansichten.

a ist die Vorgelegwelle, um welche die Ringhülse bb_1 liegt, die auf dem Fundamente ruht; der hölzerne Pansterhebel c ist mit dem Gegenstücke d zusammengeschraubt und dreht sich um die Hülse. — e ist das Lager für den Wasserwellzapfen, mit dessen Untertheil der Winkel zusammenhängt, an welchem die Zugkette befestigt wird.

Die Ziehwelle ist nicht gezeichnet; dagegen ersieht man, daß das Stirnrad g bei jeder Stellung des Wasserrades im richtigen Eingriff mit h bleibt, welches auf der Welle a sitzt, um die sich mit dem nöthigen Spielraum die Hülsen b und b_1 legen. — Auf der Welle a sitzt außer dem Rade h noch ein Rad i, welches im Eingriff mit k ist, wodurch die nach dem Gebäude führende Transmissionswelle betrieben wird.

Bei den Rädern im geraden Gerinne tritt immer ein nachtheiliger Rückstau durch das abfließende Wasser ein. — Man krümmt deshalb auch zuweilen die Gerinneböden unter dem tiefsten Punkte des Rades, entsprechend der äußern Peripherie desselben, wie **Fig. 17 Taf. II** zeigt; und wenn häufige Stauungen im Unterwasser zu befürchten, legt man noch eine Stufe von etwa 6 Zoll in den Gerinneboden, wie in derselben Figur angegeben ist. — Die Schaufelstellung nimmt man wie bei den Kropfrädern, z. B. auf **Taf. V** angegeben, so viel schräg, d. h. die Schaufeln sind Tangenten an einen Kreis, der so gewählt ist, daß die Schaufeln beim Herausgehen aus dem Wasser in der mittlern Stellung annähernd senkrecht stehen.

§. 31.

Theilung einer Wasserkraft.

Es kommt häufig vor, daß eine Wasserkraft auf zwei oder mehrere Räder zu vertheilen ist. — Dafür läßt sich im Allgemeinen aufstellen

daß bei Druckrädern (oberschlägigen, ruckenschlägigen) eine Theilung des Wasserquantums das zweckmäßigste ist, während bei Stoßrädern (unterschlägigen im geraden Gerinne) eine Theilung des Gefälles besser ist, da der Verlust durch den schädlichen Raum bei diesen letzteren Rädern kleiner sein wird mit zwei hinter einander hängenden, als mit zwei neben einander hängenden Rädern. — Deshalb läßt sich auch bei Kropfrädern nur erst in jedem einzelnen Falle feststellen, ob eine Theilung des Wassers oder des Gefälles besser ist, weil bei diesen Stoß- oder Druckwirkung gleich groß ausfallen kann, je nach dem Gefälle.

§. 32.

Schiffmühlenräder.

Es sind dies freihängende Räder ohne Gerinne, im unbgrenzten Strome, bei welchen natürlich auch nicht das ganze Wasserquantum des Flusses, sondern nur die Größe der eingetauchten Schaufelfläche bei Berechnung der nutzbar gemachten Arbeit zu berücksichtigen ist. — Auf einem großen Kahne, der mit Ketten und Ankern angemessen befestigt ist, befindet sich die Mühle, die Wasserradwelle liegt in Lagern, die auf den Längsseiten des Kahnes befestigt sind, und trägt außerhalb die Räder, welche also angebracht sind, wie die Ruderräder eines Dampfschiffes. — Statt eines Kahnes hat man auch zwei Kähne, zwischen beiden geht dann nur ein Rad, und auf dem größern Kahne befindet sich die Mühle. — Meistens haben solche Schiffmühlenräder keine Kränze, sondern schwache Arme, die in einer Rosette um die Welle herum befestigt sind, und sich gewissermaßen langen Stelzen eines kleinen Sträuberrades (Rosette) vergleichen lassen; die Welle trägt zwei Armsysteme, und je zwei korrespondirende Arme tragen ein Schaufelbret. — Der Durchmesser solcher Räder beträgt etwa 12 Fuß, die Anzahl der Schaufeln ist verschieden, selten wohl aber mehr als 24, und die Breite einer Schaufel radial gemessen (entsprechend der Radtiefe bei andern Rädern) beträgt etwa $\frac{1}{4}$ des Radhalbmessers; die Breite solcher Räder ist verschieden; ein Rad zwischen zwei Kähnen wird bis 12 Fuß breit gemacht, wenn die Räder zu beiden Seiten des Kahnes hängen, ist die Breite solchen Rades (Schaufellänge) etwa halb so groß als der Durchmesser.

Als Ersatz der gewöhnlichen Schiffmühlenräder sind von Sprengel und Mehlis in Hannover auch Flügelräder ausgeführt worden, die Prof. Rühlmann beschrieben hat, und wovon **Fig 1, Taf. XXI** eine Skizze giebt. — Das Rad liegt mit seiner Drehachse parallel der Flußrichtung, so daß die mittlere Radebene senkrecht dazu ist, und die Flügelflächen stehen schief wie Windmühlenflügel. — Die Lager der Welle ruhen in verstellbaren Konsolen, so daß man das ganze Rad heben oder senken kann, je nach dem Wasserstande. — Eine Riemscheibe oder besser wohl ein Zahnrad überträgt die Kraft nach innerhalb des Gebäudes.

Drittes Kapitel.

Die Wassersäulenmaschinen.

A. Allgemeine Beschreibung.

§. 33.

Erklärung.

Bei einer nicht allzugroßen Wassermenge, dagegen einem sehr hohen Gefälle, führt man das Wasser in Röhren nach einem Cylinder, in welchem sich ein Kolben auf und abbewegen kann, und zwar blos auf eine oder auch abwechselnd auf beide Seiten des Kolbens. In Folge des Wasserdruckes der im Einfallrohre befindlichen Wassersäule wird dann der Kolben in Bewegung gesetzt. — Die Zu- und Abführung des Wassers wird durch die sogenannte Steuerung regulirt — Eine solche Maschine heißt eine Wassersäulenmaschine oder auch wohl Wasserdruckmotor.

§. 34.

Verschiedene Konstruktionsarten.

Die Bewegung bei den Wassersäulenmaschinen ist entweder nur eine geradlinig hin- und hergehende, oder es wird auch wohl dieselbe in eine rotirende verwandelt.

Man hat einfachwirkende Maschinen (**Taf. IX Fig. 6,** und **Taf. X**) und doppeltwirkende (**Taf. VIII, Fig. 1—5, Taf. IX, Fig. 1,** sowie **Fig. 5, Taf. IX**). Dabei können die Cylinder sowohl aufrechtstehend, als auch liegend sein; es giebt eincylindrige, sowie zweicylindrige Maschinen, zu welch letztern die Maschine auf **Taf. VIII, Fig. 1** und **Taf. XI Fig 1** gehören; diese sind außerdem noch Maschinen, bei welchen die hin- und hergehende Kolbenbewegung in eine rotirende verwandelt wird.

§. 35.

Cylinder und Kolben.

Der Treibcylinder besteht meistens aus Gußeisen, zuweilen auch aus Rothguß oder Bronce. Es ist bei den geradling hin- und hergehenden Kolben vortheilhaft, möglichst wenig Spiele oder Kolbenwechsel zu haben, in der Regel nur 3 bis 6 Spiele (Doppelhübe) pro Minute, deshalb macht der Cylinder mehr lang als weit. — Die mittlere Kolbengeschwindigkeit nimmt man in der Regel zu 1 Fuß an (0,314 Meter) pro Sekunde, und damit die hydraulischen Hinder-

nisse in den Röhren nicht zu groß ausfallen, nimmt man dieselben möglichst weit, meistens variirt der Durchmesser dieser Röhren zwischen $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ des Cylinders.

Durch den Wasserdruck wird nicht blos der Kolben fortgeschoben, sondern auch der Cylinder hat einen Druck auszuhalten nach der der Kolbenbewegung entgegengesetzten Seite; dieser Druck ist zu messen durch das Gewicht der Wassersäule F H. γ., wo F der Querschnitt des Kolbens, H und γ die aus frühern Paragraphen bekannten Werthe sind. — Dies ist besonders bei solchen direktwirkenden Maschinen zu berücksichtigen, welche nicht unmittelbar ein Fundament erhalten, sondern auf Träger gestellt werden, die ihrerseits auf den Schachtwänden oder dergl. ihre Unterstützung finden.

Der Kolben, Treibkolben, muß möglichst dicht in dem Cylinder hin- und hergehen, ohne allzuviel Reibung, und erhält zur Erfüllung beider Bedingungen die sogenannte Liederung, welche in verschiedener Weise ausgeführt wird, aus Lederriemen, oder Lederscheiben und Metallringen, welche bei der Beschreibung der einzelnen Maschinen noch specieller besprochen werden wird.

Die Kolbenstange, welche wie bei der Maschine auf **Taf. X** auch gleichzeitig der Kolben selbst sein kann, muß am Boden oder Deckel des Cylinders durch eine Stopfbüchse gedichtet werden, welche so eingerichtet ist, daß man sie mit Schmiere versehen kann, die gewöhnlich einfach aufgegeben, seltener (wie bei den Turbinen) durch Schmierpressen zugeführt wird.

An der Kolbenstange ist bei den direktwirkenden Pumpenmaschinen möglichst unmittelbar das Pumpengestänge befestigt, oder die Bewegung wird durch Stange und Kurbel auf eine Betriebswelle übertragen bei den rotirenden Maschinen.

§. 36.

Steuerung.

Die Steuerung ist derjenige Theil der Maschine, welcher das Wasser abwechselnd auf und von dem Kolben leitet, wie es dem richtigen Gange der Maschine entspricht. Die Steuerung besteht aus zwei Hauptheilen, der eigentlichen innern Steuerung und zweitens derjenigen Vorrichtung, welche die innere Steuerung mit dem Treibkolben oder dessen Stange in Verbindung setzt, welches man wohl auch die äußere Steuerung nennt.

Die innere Steuerung ist entweder eine Hahnsteuerung oder Kolbensteuerung, oder Schiebersteuerung.

Die Hahnsteuerungen finden sich nur noch an den ältesten Maschinen, die Skizze einer solchen Steuerung ist **Taf. IX Fig. 9** abgebildet. — Man ersieht aus derselben den Querschnitt des Hahnes und wie bei der gezeichneten Stellung das Druckwasser aus der Einfallröhre A durch den Kanal a unter den Kolben tritt und denselben in die Höhe treibt, während das abgehende Wasser durch den Kanal b und das Rohr B entweicht. — Beim Niedergange des Kolbens (eine doppeltwirkende Maschine vorausgesetzt) würde durch eine Drehung

des Hahnes um 90 Grad die Einfallröhre A mit dem Kanal b kommuniciren, und der Kanal a mit dem Abflußrohre B.

Die Kolbensteuerungen kommen am häufigsten vor und finden sich einzelne Konstruktionen später beschrieben, so daß darauf verwiesen werden kann, und nur im Allgemeinen zu erwähnen ist, daß ein plötzliches Zu- oder Aufschließen zu vermeiden, weil sonst Stöße in den Wassersäulen entstehen, die Brüche an den Maschinen herbeiführen können, obschon man diesem Uebelstande durch Anbringung von Windkesseln begegnen kann. Um die verloren gegangene Luft in diesen von Zeit zu Zeit ersetzen zu können, wird eine kleine Luftpumpe angebracht.

Die Schiebersteuerungen sind in neuester Zeit zuweilen angewendet worden, und finden sich auch bei einzelnen Maschinen abgebildet.

Die äußere Steuerung ist von den bekanntern Dampfmaschinensteuerungen etwas abweichend, weil das Wasser ein unzusammendrückbarer Körper ist, man kann deshalb auch die Bewegung von der Treibkolbenstange nur der Art auf den Steuerkolben überführen, daß im Momente des Absperrens und also Stillstehens des Treibkolbens der Steuerkolben sich demohngeachtet noch weiter bewegt, um dem abgeschlossenen Wasser im Treibcylinder einen Ausweg aus der Maschine zu eröffnen. — Diese äußere Steuerung ist auch in verschiedener Weise ausgeführt worden, entweder als Gewichtssteuerung (Hammersteuerung, Pendelsteuerung), die jedoch nur noch selten angewendet wird, oder als hydraulische Steuerung, welche eigentlich eine Hülfswassersäulenmaschine ist, die mit dem Druckwasser in Verbindung steht, und deren Treibkolben den Steuerkolben der Hauptmaschine in Bewegung setzt. — Diese Steuerung ist in mehrern Beispielen auf den Tafeln abgebildet.

§. 37.

Regulirung des Ganges.

Um bei den Maschinen mit aufrechtstehenden Cylindern einen gleichmäßigen Gang zu erzeugen, muß das Gewicht des daran hängenden Pumpengestänges ausgeglichen werden; dies geschieht dadurch, daß die Bewegung des Treibkolbens beim Aufgange unterstützt und beim Niedergange gehindert wird, so daß der Kolben seinen regelmäßigen Gang behält, ohne bedeutende Geschwindigkeitsveränderung. Bei den zweicylindrigen Maschinen, welche nicht häufig vorkommen, sind zu diesem Zwecke beide Treibkolbenstangen durch einen gleicharmigen Hebel miteinander verbunden, so daß die niedergehende Last auf der seinen Seite die aufzuhebende der andern ausgleicht; bei den eincylindrigen Maschinen ist ein entsprechendes Gewicht zur Ausgleichung nothwendig, welches zuweilen an einer Seite eines doppelarmigen Hebels befestigt ist, dessen anderes Ende mit dem Treibkolbengestänge verbunden ist. Durch einen solchen mechanischen Balancier wird bewirkt, daß beim Aufgange des Treibkolbens das Balanciergewicht niedergeht, also dem Heben des Pumpengestänges för-

derlich ist, während beim Niedergange des Treibkolbens das Balanciergewicht gehoben werden muß, also als Last das sonst zu rasch niederfallende Pumpengestänge ausgleicht — Der hydraulische Balancier besteht in einer vertikalen Röhre, welche je nach der Größe der Maschine eine bestimmte Höhe hat, so daß das Wasser, welches den Treibcylinder verläßt, erst aufwärts steigen muß, ehe es abfließen kann, und das Gewicht dieser Hinterwassersäule bildet das Gegengewicht zum Pumpengestänge.

Die rotirenden Maschinen werden am besten zweicylindrig gebaut, so daß der eine Kolben am Ende, die Kurbel also auf dem todten Punkte angelangt ist, wenn der andere Kolben in der Mitte seines Laufes ist, wobei die Kurbel die günstigste Stellung für die Uebertragung der Kraft hat; auch könnte man auf solche Maschinen noch ein Schwungrad setzen, dessen Gewicht geringer zu sein brauchte, als wenn die Maschine nur mit einem Cylinder versehen wäre.

Für die Regulirung einer Wassersäulenmaschine sind noch wesentlich die Stellhähne oder Drosselklappen, welche sowohl in der Einfallröhre, wie in dem Abflußrohr angebracht werden, wodurch der Bewegung des Wassers in den Röhren Hinderniß bereitet werden kann, die Geschwindigkeit also vermindert wird, und somit eventuell auch diejenige des Treibkolbens. — Es wird jedoch durch die Benutzung einer Drosselklappe im Einfallrohr (Tagepipe zuweilen genannt) der Nutzeffekt der Maschine verringert, welcher am größten ist, wenn die Maschine voll beaufschlagt wird. Wo es thunlich, spart man am Aufschlagwasser, oder erreicht einen höhern Nutzeffekt durch eine Verringerung des Kolbenlaufes, wodurch dann allerdings bei den Pumpenmaschinen auch weniger Wasser gefördert wird.

Die Veränderung des Hubes erreicht man durch Verstellung von Daumen oder Knaggen, die auf der Treibkolbenstange, oder einer zweiten Stange, die mit dem Treibkolben verbunden ist, befestigt werden können. Je näher die Knaggen einander gebracht werden, desto schneller erfolgt die Umsteuerung und desto kleiner ist der Hub.

Man kann auch noch Hähne in den Röhren anbringen, welche das Steuerwasser (das Wasser, welches die Steuerung bewegt) zu- und abführen, dadurch läßt sich der Auf- und Niedergang des Steuerkolbens reguliren, somit auch der Gang der Maschine. — Diese Vorrichtungen sind bei der Beschreibung der einzelnen Maschinen näher angegeben.

§. 38.

Leistung der Wassersäulenmaschinen.

Wenn wir den Querschnitt der Kolbenfläche mit F bezeichnen und mit h_1 die mittlere Druckhöhe der Einfallwassersäule (Kraftwassersäule), so wie mit h_2 die mittlere Druckhöhe der Ausgußwassersäule (Hinterwassersäule), so wird sich beim Hingange des Kolbens der geleistete Druck ausdrücken durch $F h_1 \gamma$ und beim Rückgange desselben der Arbeitsverlust durch $F h_2 \gamma$, also die geleistete Arbeit pro 1 Spiel (Hin- und Rückgang) bei einer einfach wirkenden Maschine, wird sein

F. $(h_1 - h_2)\,\gamma$, und da man $(h_1 - h_2)$ das gesammte disponible Gefälle H darstellt, so drückt sich die Leistung pro Spiel aus durch $L = F\,H\,\gamma$. —

Ist nun ferner l die Länge des Kolbenhubes, n die Zahl der Spiele pro Minute, also $\frac{n}{60}$ die Zahl derselben auf die Sekunde reducirt gedacht, so ergiebt sich die Leistung der Maschine pro Sekunde, da $F \cdot l \cdot \frac{n}{60}$ die verbrauchte Wassermenge in dieser Zeit ist,

$$L = F \cdot l \cdot \frac{n}{60} \cdot \gamma \cdot H.$$

Ist nun ferner Q die Wassermenge pro Sekunde, deren Kubikeinheit das Gewicht γ hat, so ist zunächst die Wassermenge pro Minute $= 60$ Q und dies ist gleich $F \cdot l \cdot n$ (eine einfachwirkende Maschine vorausgesetzt wie vorher); daraus ergiebt sich $\frac{F \cdot l \cdot n}{60} = Q$, oder die Leistung der Maschine pro Sekunde

$$L = Q\,H \cdot \gamma,$$

wie in §. 1 bereits angegeben. —

Will man die Leistung der Maschine in Pferdestärken angeben, so braucht man nur dieselben Formeln wie in §. 2 zu benutzen, um das absolute Arbeitsmoment N_a zu erhalten. —

In Folge der hydraulischen Hindernisse, hervorgerufen durch die Reibung des Wassers an den Wänden, sowie in Folge der Kolbenreibung 2c., ist die wirkliche Leistung oder der Nutzeffekt nur ein Theil dieses absoluten Werthes N_a. — So weit die Erfahrungsresultate vorliegen, und später an einzelnen Beispielen nachgewiesen ist, schwankt der Wirkungsgrad zwischen 0,50 bis 0,85, was zum Theil von der Art der betriebenen Arbeitsmaschinen abhängt, — wenn man die Leistung dieser letztern damit vergleicht. —

Vergleicht man die Wassersäulenmaschinen mit den Wasserrädern, so werden die letztern bei kleinem Gefälle, die ersten bei hohem Gefälle den Vorzug verdienen, da sich ein Wasserrad von 40 Fuß und mehr Durchmesser schwierig ausführt, und zwei übereinanderhängende Räder weniger Nutzeffekt geben würden als eine Wassersäulenmaschine. — Vergleicht man die Wassersäulenmaschinen dagegen mit den Turbinen, so haben die letzten bei jedem Gefälle den Vorzug der Einfachheit gegenüber den Wassersäulenmaschinen, jedoch stehen sie zurück in Bezug auf den Nutzeffekt, und es wird namentlich bei hohem Gefälle und wenig Wasser einer Wassersäulenmaschine der Vorzug zu geben sein, wenn es auf Erlangung eines möglichst hohen Nutzeffektes ankommt.

B. Beschreibung einzelner Maschinen.

§. 39.

Wassersäulenmaschinen bei Berchtesgaden*).

(Tafel IX, Fig. 5.)

Auf der Soolenleitung zwischen Berchtesgaden, Reichenhall, Traunstein und Rosenheim im bairischen Oberlande befinden sich mehrere Wassersäulenmaschinen, welche bereits vor etwa 50 Jahren vom Salinenrath, Direktor Reichenbach, konstruirt wurden.

Die auf Taf. IX, Fig. 5, abgebildete Maschine unterscheidet sich vorzüglich dadurch von den gewöhnlichen Wassersäulenmaschinen, daß sie zwei Treibkolben hat, welche an derselben Kolbenstange festsitzen; einen kleinern A, welcher von dem Druckwasser nach oben geschoben wird, wodurch die Pumpe die Soole ansaugt; und einen größern Kolben B, welcher nach unten bewegt wird, und hierbei die Salzsoole durch den Pumpenkolben C in der Steigröhre empordrückt. — Das Gefälle der Maschine ist 116 Meter (369,576 Fuß) und die Förderhöhe der Soole beträgt 378 Meter (1204,3 Fuß) vertikal gemessen, wobei die Röhrentour eine Länge von 3500 Fuß hat. —

Außer den beiden Treibcylindern gehören zur Maschine noch die Einfallröhre D und die Abgangsröhre E für das Triebwasser, so wie der aus einzelnen Theilen bestehende Steuercylinder, mit den 3 Kolben F, G, H, die an einer gemeinschaftlichen Kolbenstange sitzen; gleichzeitig ist an diesem Steuercylinder noch eine Hilfssteuerung angebracht, bestehend aus den beiden kleinen Kolben h und h_1, welche mittelst Zugstange und des Hebels i k l von der Treibkolbenstange in Bewegung gesetzt wird. — Mit dieser Kolbenstange ist auch der Kolben C der Pumpe verbunden, welche die Soole fördert; die Zeichnung zeigt den dazu gehörigen Ventilkasten, sowie die Saugeröhre N und Druckröhre O. —

Bei der gezeichneten Stellung gelangt das Druckwasser aus der Einfallröhre D über den größern Treibkolben B, und das Kolbensystem der Maschine beginnt seinen Niedergang, wobei das unter dem kleinen Treibkolben A befindliche Wasser seinen Rückgang durch das Rohr P und den oberen Theil des Steuercylinders durch die Oeffnung Q nach dem Abgangsrohr E nimmt. — Gegen Ende des Nierderganges werden durch die an der Kolbenstange befindliche Zahnstange, das Segment am Hebelende l, der Hebel i k l bewegt und somit die kleinen Kolben h und h_1 emporgeschoben; dadurch wird der Regulirungskolben F mit dem in der Röhre R stehenden Druckwasser in Verbindung gesetzt, und das ganze Steuerkolbensystem rückt empor, wobei der Kolben G das Druckwasser vom Treibkolben B absperrt und die Verbindung desselben mit der Abgangsröhre E herstellt, ferner bewirkt gleichzeitig der Steuerkolben H die Verbindung der Einfallröhre D mit dem kleinen Treibkolben A. —

*) Nach eigenen Notizen, mit theilweiser Benutzung der Angaben in Weißbach, Mechanik.

In Folge dessen treibt das Druckwasser das Treibkolbensystem wieder in die Höhe und gegen Ende des Aufganges werden durch Hebel und Zugstange die kleinen Kolben h und h_1 wieder herabgezogen, folglich der Wasserdruck auf H aufgehoben, die Steuerkolben gehen wieder in die gezeichnete Stellung zurück und es beginnt ein neues Spiel. Die Einfallröhre D hat eine Drosselklappe, welche durch ein Griffrad, Schraube ohne Ende mit eingreifendem Zahnsegment gestellt wird. — Das von derselben nach aufwärts gehende Rohr mit dem Hahne S dient zum Einlassen von Luft, wenn nach eingetretenem Stillstand das Wasser ganz aus der Maschine abgelassen werden soll.

Die Maschine hat einen Hub von 3 Fuß 8 Zoll (1,15 Meter), der größere Treibkolben hat 0,68 Meter (26″) Durchmesser, der kleine A dagegen 0,292 Meter ($11\frac{1}{8}$″) Durchmesser und eben so viel der Pumpenkolben C; es ist folglich das pro Spiel verbrauchte Aufschlagwasserquantum

$$Q = \frac{1}{4}\,\pi\,[(0,68)^2 + (0,292)^2]\;1,15 = 0,494 \text{ Kubikmeter.}$$

Rechnet man hierzu noch 0,015 Kubikmeter Steuerwasser, so folgt das absolute Arbeitsmoment der Maschine pro Spiel

$$L = (0,494 + 0,015)\;116 \cdot 1000 = 0,509 \cdot 116 \cdot 1000$$
$$= 59044 \text{ Kilogrammmeter.}$$

Das geförderte Quantum Salzsoole pro Spiel beträgt

$$\frac{1}{4}\,\pi \cdot (0,292)^2 \cdot 1,15 = 0,077 \text{ Kubikmeter;}$$

setzt man das spec. Gewicht der Soole = 1,2, so wiegt 1 Kubikmeter = 1200 Kilogr., also ist das theoretische Arbeitsmoment der Pumpe pro Spiel

$$= 0,077 \cdot 378 \cdot 1200 = 34927 \text{ Kilogrammmeter}$$

und es ist folglich der Wirkungsgrad dieser Maschine

$$\eta = \frac{34927}{59044} = 0,59.$$

In Pferdestärken ausgedrückt: bei 1 Fuß Kolbengeschwindigkeit (0,314 Meter) pro Sekunde, wäre das verbrauchte Wasser in dieser Zeit $0,509 \cdot \frac{0,314}{2,3} = 0,0695$ Kubikmeter *); und also nach §. 2 das absolute Arbeitsmoment

$N_a = 13,33 \cdot 0,0695 \cdot 116 = 106,6$ Pferdestärken. —

Die vorstehend beschriebene Maschine ist zu Illsangg bei Berchtesgaden aufgestellt, unmittelbar bei letzterer Sadt findet sich eine andere Wassersäulenmaschine, deren Maße mit Beibehaltung der vorher genommenen Buchstaben folgende sind:

A = $9\frac{1}{2}$″ = 25 Centimeter.
B = 17″ = 44,5 Centimeter.
C = 15″ = 39,2 Centimeter.
Länge des Kolbenlaufes 4′ = 1,256 Meter.
Gefälle des Aufschlagwassers 300′ = 94,2 Meter.
Förderhöhe der Salzsoole 311′ = 97,65 Meter
Durchmesser der Soolenleitung $4\frac{1}{2}$″ (11,8 Centimeter).
Ventile kegelförmig von $5\frac{1}{2}$″ (14,5 Centim.) Durchmesser und von

*) Nach Rühlmann's Angaben ist die Wassermenge p. Sek. nur 1 Kbkfß. bair. = 0,025 Kbmet., die Kolbengeschw. wäre also in diesem Falle kleiner als oben angenommen.

Rothguß gearbeitet. Durch jedes Spiel der Maschine wird 3¼ Kbfß. Soole gefördert. Das Aufschlagwasser ist 0,322 Kbfß. preuß. —

Die Röhrentour von der Maschine bis zum Brunnenhause ist 950′ lang, und es sind auf diese Länge zwei Stopfbüchsen zur Ausdehnung und Zusammenziehung bei Temperaturdifferenzen. Die Längenveränderung beträgt für jede Hälfte ohngefähr ¾″ zwischen Sommer und Winter. — An der untern Stopfbüchse ist auch ein Feuerspritzenrohr angebracht. —

Die Einfallröhre D hat 6″ Durchmesser = 24,6 Cm.
der obere Kolben H = 4¼″ = 11,2 Cm.
der mitlere „ G = 5½″ = 14,5 Cm.

Beide Kolben sind von Zink und haben 8 Zoll oder (21 Cm.) Höhe; der untere Kolben F ist von Leder 5½″ (14,5 Cm.) Durchmesser, 8½″ Höhe. — Der Hub des Steuerkolbensystems beträgt 12″ (31,4 Cm.) Der lichte Durchmesser des Rohres P beträgt 2½″ (6,5 Cm.), die kleinen Kolben h haben 1¼″ Durchmesser (3,3 Cm.) — Die Treibkolben haben Lederringe und sind 1 Fuß hoch. —

An den Cylindern sind dünne Kupferröhrchen angebracht zum Abführen etwa übersteigenden Wassers. Kolbenstange, Treibcylinder ꝛc. sind von Rothguß, die Röhren von Gußeisen.

§. 40.

Wassersäulenmaschine in den Bergwerken von Huelgoat, Bretagne *).

(Taf. IX, Fig. 6, 7, 8.)

Diese Maschine wird zum Heben der Grubenwasser benutzt, ist eine gut ausgeführte, einfach wirkende Maschine nach Reichenbach's System, welche mit einer zweiten neben ihr stehenden eben solchen Maschine aufgestellt worden ist. —

Der oben offene Treibcylinder A, in welchem sich der Treibkolben B bewegt, kommunicirt mit dem Steuercylinder C C′ durch das Rohr D, und dieser Cylinder ist mit dem Einfallrohr E und Abflußrohr F verbunden. In der gezeichneten Stellung ist der Steuerkolben G auf halbem Wege und durch eine Stange mit einem etwas größern Gegenkolben H verbunden, auf welchem ein hohler Cylinder I aufgesetzt ist. Da der Kolben H größer ist als G, würden beide durch das Druckwasser nach oben getrieben, wenn nicht durch das Rohr a a′ bei der hier gezeichneten Stellung, der sogenannten Hülfssteuerung h h′ Druckwasser über den Kolben H träte, welches, nachdem es gewirkt, wieder durch den schmalen Kanal o bei der inzwischen veränderten Stellung der Kolben h und h′ durch die Röhre b b′ abfließt nach dem Abflußrohr F. — Diese Hülfssteuerung ist insofern der Hauptsteuerung ähnlich, daß sie außer den Kolben h, h′ noch einen Stempel i hat, welcher über dem Kolben h′ einen schmalen ringförmigen Raum

*) Annales des mines 1835. — Burg, Mechanik. — Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie 1835 et 1836.

läßt, in welchen das Druckwasser durch das enge Rohr n treten und dadurch den nöthigen geringen, etwa 50 Pfund betragenden Gegendruck bilden kann, welcher zur Ausgleichung jenes Druckes nothwendig ist, den der untere Kolben h nach aufwärts erleidet, in Folge der 14 Meter hohen Hinterwassersäule. —

Diese Hülfssteuerung erfordert also zu ihrer Bewegung eine sehr geringe Kraft, und wird durch ein Hebelsystem bewegt. — Es ist nämlich auf dem Treibkolben B eine runde Stange d befestigt, welche oben eine Führung g, und gegen die Steuerung hin eine flache Leiste e trägt, die das Hebelsegment k während der Kolbenbewegung tangirt. — An der vordern und hintern Seite dieser Leiste sind zwei Knaggen I und II mittelst Schrauben befestigt, ihre Entfernung kann man leicht verändern, indem die vorgenannte Leiste der Länge nach mit einer Reihe von passenden Löchern versehen ist. — Diese Knaggen korrespondiren nun mit zwei Ansätzen oder Vorsprüngen 1, 2, welche an dem Segment k angebracht sind, und es ergreift beim Aufwärtsgehen des Treibkolbens die Knagge I den Ansatz 1 und hebt mittelst der gezeichneten Hebelverbindung die Hülfssteuerkolben h h' i so lange, bis der Ansatz 1 in Folge der Drehung des Segments außer Berührung kommt, alsdann bleibt dieses und also auch das Hülfssteuersystem ruhig stehen, während der Treibkolben seinen Lauf aufwärts vollendet. — Bei dem darauf folgenden Niedergehen des Treibkolbens geht die Knagge I bei 1 ruhig vorbei, während Knagge II den Vorsprung 2 ergreift und das Segment sammt dem Hülfssteuersysteme wieder in die erste, und in der Figur gezeichnete Lage herabführt. —

Bei der jetzigen Stellung der Hauptsteuerkolben, obgleich dieselben noch im Herabgehen begriffen, fängt bereits das Druckwasser an auf den Treibkolben B zu wirken, in Folge der eigenthümlich konischen Form des Steuerkolbens G, welcher auch noch mit passenden Einkerbungen versehen ist (**Fig. 8**). Der Steuerkolben geht so weit nieder, bis der Kanal D ganz frei wird, und wenn inzwischen der Treibkolben so hoch gestiegen ist, daß durch die vorerwähnten Knaggen und Hebel das Hülfssteuersystem h h_1 i gehoben wird, so fängt auch, weil dadurch das Druckwasser über dem Gegenkolben H durch den Kanal o und die Röhren b b' nach dem Abflußrohr F entweicht, das Hauptsteuerkolbensystem G H J an zu steigen, und es ist in dem Augenblicke, wo der Treibkolben B bei verzögerter Geschwindigkeit seinen höchsten Stand erreicht hat, der Steuerkolben G bereits so hoch gekommen, daß durch seine untern Einkerbungen die Kommunikation zwischen Treibcylinder A und Ausflußrohr F beginnt, die sich immer mehr vergrößert, bis der Kanal D ganz geöffnet ist; und das Gewicht des mit der Kolbenstange des Treibkolbens verbundenen Pumpengestänges zieht denselben daher nach abwärts. Hat nun bei diesem Niedergehen des Treibkolbens die Knagge II die Hülfssteuerung wieder in die gezeichnete Lage herabgezogen, so drückt auch, weil dadurch das Druckwasser aus dem Steuercylinder durch das Rohr a a' und den kleinen Kanal o in den ringförmigen Raum über dem Gegenkolben gelangt, dasselbe den Steuerkolben wieder nach abwärts, welcher die gezeichnete Lage hat, wenn der Treibkolben seinen niedrigsten Stand erreicht, nachdem

seine Geschwindigkeit allmälig bis Null abgenommen, und es beginnt das Spiel der Maschine von neuem.

Durch die vorerwähnte konische Form des Steuerkolbens, welcher **Fig. 8, Taf. VIII**, in einem etwas größern Maßstabe gezeichnet ist, beseitigte Reichenbach (ohne Windkessel) die nachtheiligen Stöße und Erschütterungen, die sonst durch die plötzlichen Geschwindigkeitsänderungen der steigenden und fallenden Wassersäule entstehen würden, indem bei dieser Anordnung der Treibkolben und folglich auch die beiden Wassersäulen von der Ruhe aus nur allmälig auf die normale Geschwindigkeit und gegen Ende des Laufes ebenso wieder allmälig zur Ruhe gebracht werden. —

Außerdem ist noch darauf aufmerksam zu machen, daß der Maschinenwärter die letzte Regulirung der Treibkolbengeschwindigkeit ganz einfach durch die Handhabung der beiden Hähne e f bewirken kann, wodurch die zu- und abfließende Wassermenge regulirt wird, welche in oder aus dem ringförmigen Raum über dem Gegenkolben fließt, es kann sogar der Gang der Maschine in jedem Augenblick sistirt oder wieder hergestellt werden. — Denn wäre z. B. der Steuerkolben G bei seinem Aufgange in die gezeichnete Stellung gekommen, wobei dann die Hülfssteuerkolben in ihrer höchsten Stellung stünden (während sie beim Herabgehen von G in der tiefsten Stelle sind), so braucht man nur den Hahn f zu schließen, um die Maschine in Stillstand zu bringen; sie wird dagegen sogleich wieder durch Oeffnen dieses Hahnes in Bewegung gesetzt. — Ein gleiches Resultat erhält man während des Herabgehens dieses Steuerkolbens, wobei man jedoch den Hahn e schließen und im zweiten Falle öffnen muß. —

Das mit der Kolbenstange verbundene 170 Meter (541,6 Fuß) lange Pumpengestänge, welches in einer doppelten Kette besteht, besitzt ein Gewicht von nicht ganz 12000 Kil., und es mußte zur Herbeiführung eines gleichmäßigen Ganges dieses Gewicht auf irgend eine Weise balancirt werden. — Es wurde hier ein sogenannter hydraulischer Balancier in Anwendung gebracht, welcher ganz einfach in einer zweiten Röhrentour, d. i. in einer vertikalen Wassersäule besteht, welche mit dem Abflußrohr F kommunicirt, so daß also das unter dem Treibkolben befindliche Wasser nicht frei abfließen kann, sondern unter dem Gewichte einer Wassersäule, welche sonach als Regulator wirkt. — Damit jedoch hierdurch kein Effektverlust herbeigeführt wird, wurde die Wassersäulenmaschine nicht auf die Höhe des Abflußkanals, sondern um die Höhe des hydraulischen Balanciers tiefer gestellt (vergleiche §. 37 und 42). —

Man kann auch die Geschwindigkeit des Kolbenlaufes durch Drosselklappen V und W reguliren, von denen die erste im Zugangsrohre, die zweite im Abgangsrohre angebracht ist; jede ist außerdem so eingerichtet, daß sie sich von außen beliebig um ihre Axe drehen läßt, um das betreffende Rohr ganz zu öffnen oder mehr und weniger zu schließen. — Stellt man die Klappe V theilweise zu, so wird die Geschwindigkeit des Treibkolbens B beim Aufwärtsgehen vermindert, und geschieht dies mit der Klappe W, so erfolgt das Niedergehen langsamer, als wenn bei ganz geöffneter Klappe das Wasser schneller heraus kam. —

An der Maschine sind ferner noch Vorrichtungen angebracht, damit das Steuerkolbensystem G H J jedesmal am Ende seines Laufes keinen Stoß erzeugt. — Zu diesem Zwecke stößt der durch die Stopfbüchse gehende Kolben J mit seiner obern Grundfläche gegen einen Puffer P; während bei der Abwärtsbewegung der an der verlängerten Kolbenstange angebrachte kleine Cylinder r, **Fig. 8**, in das mit Wasser gefüllte Gehäuse s tritt, und da das Wasser nur schwer aus demselben entweichen kann, bildet es ein solches Hinderniß, daß die Abwärtsbewegung ohne Stoß erfolgt. —

Die Dimensionen der Maschine sind folgende: Treibkolben 1,0287 Meter (3,277 Fuß) Durchmesser und 2,3 Meter (7,33 Fuß) Hub, es finden pro Minute etwa 5 Auf- wie Niedergänge, oder 5 Spiele statt, was einer Kolbengeschwindigkeit von 1,22 Fuß pro Sekunde gleich sein würde. —

Die Durchmesser der drei Kolben G, H, J sind der Reihe nach 0,369 Meter ($14\frac{1}{8}$"), 0,404 Meter ($15\frac{1}{2}$"), und 0,322 Meter ($12\frac{1}{8}$"); und sie wiegen zusammen 390 Kilogramm. — Weißbach giebt an, daß später der Kolben G, (der anfänglich wie gezeichnet aus Bronze war) von zusammengepreßten Lederscheiben gebildet wurde. —

Die kleinen Kolben $h\ h_1$ haben einen Durchmesser von 5 Centimeter, die Fallröhren eine innere Weite von nur 38 Centimeter ($14\frac{1}{2}$") und eine Wandstärke von 27 Millimeter (1"). — Der Pumpenkolben hat einen Durchmesser 45 von Centim. ($17\frac{1}{4}$") und denselben Hub wie der Treibkolben.

Das nutzbare Gefälle beträgt 60 Meter. Jeder Hub des Treibkolbens erfordert 1,88 Kubikmeter (60,8 Kbfß.) Aufschlagwasser, und etwa noch 0,1 Kubikm. (3,23 Kbfß.) Steuerwasser.

Die Wassersäulenmaschine, sowie die Pumpe wurde dafür berechnet und konstruirt, um pro Minute ein Wasserquantum von 1,792 Kubikmeter (oder 58 Kbfß.) 230 Meter (732,78') hoch zu heben, was eine Leistung von 91 Pferdestärken sein würde. Anfänglich stand die Pumpe jedoch nur 170 Meter (541,6') tief, man konnte also durch die Drosselklappe die Zuleitung des Aufschlagwassers verringern; wenn die Pumpe später 230 Meter tief gestellt worden ist, mußte man dagegen mit voller Kraft arbeiten und es mußte der beschriebene hydraulische Balancier von 14 Meter Höhe vergrößert werden, weil er dann nicht mehr genügend wäre, indem bei 230 Meter Tiefe das Gestänge circa 16000 Kilogr. wiegen würde. — Nachrichten über diese Abänderungen fehlen. —

§. 41.
Wassersäulenmaschine zu Saint-Nicolas-Varangeville.
(Taf. IX, Fig. 1 bis 4.)

Diese doppeltwirkende Wassersäulenmaschine wurde behufs der Gewinnung des Steinsalzes der Salinenwerke von Saint-Nicolas-Varangeville, Dep. Meurthe in Frankreich, vom Ingenieur Pfetsch errichtet. —

Die Zubereitung des salzigen Wassers oder der Soole geht in den Grubenstrecken (Gallerien) vor sich, zu welchem Zwecke das erforderliche süße Wasser zu der Soole der Schächte geleitet wird; das dadurch entstehende Gefälle führte auf die Errichtung einer Wassersäulenmaschine.

Das Aufschlagwasser hat vom Bassin I bis zur Maschine 174 Meter (554,36 Fuß) Gefälle, nach dem Austritt aus der Maschine (**Fig. 4, Taf. IX**) entweicht es nicht frei, sondern in ein Bassin II, das 11 Meter (35 Fuß) über der Wassersäulenmaschine liegt. — Von diesem Bassin aus vertheilt sich das Wasser in die Gallerien zum bergmännischen Gebrauch und um sich in Soole zu verwandeln; dann fließt diese in ein Bassin III unmittelbar neben und über der von der Wassersäulenmaschine betriebenen Pumpe P, und wird von dieser nach dem Bassin IV gedrückt, welches 87 Meter (277 Fuß) über der Maschine sich befindet. —

Die allgemeine Anordnung dieser schönen doppeltwirkenden Wassersäulenmaschine hat viele Aehnlichkeit mit der von Belidor vorgeschlagenen und es sind auch bei derselben die Reichenbach'schen Vervollkommnungen angebracht worden. — **Fig. 1, Taf. IX**, stellt den Längendurchschnitt der ganzen Maschine und **Fig. 2** den Querschnitt der Pumpe dar; **Fig. 3** zeigt im größern Maßstabe die Steuerung der Wassersäulenmaschine und **Fig. 4** die ganze Aufstellung. — Die Ausführung der Maschine erfolgte in den Werkstätten von Dyckhoff in Bar-le-Duc. —

Die Wassersäulenmaschine besteht aus zwei Haupttheilen, dem Treibcylinder mit dem Kolben M und dem Steuerungscylinder mit dem Steuerkolben O und N; das Aufschlagwasser wird durch das Rohr A zugeführt und entweicht nach seiner Wirkung durch das Rohr S. — Bei der in **Fig. 1** gezeichneten Stellung gelangt das Wasser aus A durch den Kanal B hinter den Kolben M und wird denselben nach rechts drücken, demgemäß auch das Gestänge C c und den Pumpenkolben V, die Soole wird also durch das Druckventil y in das Steigerohr x gedrückt, welches nach dem Bassin IV führt, während das vorher geöffnete Druckventil y' wieder zuschließt, und dafür das zu demselben gehörige Saugventil sich öffnet. — Die Kolbenstange ist mit einer zweiten verbunden, welche die Knaggen E und F trägt, die abwechselnd gegen Ende jedes Kolbenlaufes gegen den Hebel G stoßen, auf diese Weise wird mittelst des Hebels H die Stange R hin und her gezogen und somit die Stellung der kleinen Kolben h_1 und h verändert (**Fig. 3**). In der gezeichneten Stellung tritt, vom Hauptrohr abgezweigt, Druckwasser durch das Rohr l und die Oeffnung l', es kann auf den Kolben m drücken, denselben von rechts nach links schieben, so daß sich die Kolben N und O jetzt in der äußersten Stellung nach links befinden, da die 3 Kolben O, N, m eine gemeinschaftliche Stange d haben. — Ist der Treibkolben M gegen Ende seines Kolbenlaufes nach rechts gelangt, so drückt die Knagge E die Hebel G und H in die entgegengesetzte Stellung, der Kolben h tritt zwischen l und l' und statt dessen kommen l' und t mit einander in Verbindung, und das auf den Kolben m drückende Wasser geht zurück und entweicht durch das Rohr t'. — Da nun, um den Querschnitt der

Stange auszugleichen, der Kolben N einen etwas größern Durchmesser hat, als O und auch auf der linken Seite des Kolbens m der Druck der Abgangs- oder Hinterwassersäule fortdauert, so geht die Steuerung so weit nach rechts, daß der Kanal D mit dem Zugangsrohr A und der Kanal B mit dem Abgangsrohr S in Verbindung ist, dies ist der Moment, wo der Treibkolben auf der äußersten Stelle nach rechts steht, und wieder nach links umwendet, bis er in der gezeichneten Stellung wieder angelangt ist und das Spiel von neuem beginnt, denn auch die Knagge F hat inzwischen wieder die Hebel G und H und die kleinen Kolben h und h_1 in die gezeichnete Stellung gedrückt und demzufolge sind auch die Hauptsteuerkolben N und O wieder in dieselbe gekommen. —

Da die Maschine, wie schon erwähnt, und in **Fig. 4** gezeichnet, mit einem Gegendruck von 11 Meter arbeitet, so bleiben von dem ganzen Gefälle von 174 Meter nur 163 Meter nutzbares Gefälle für die Bewegung des Treibkolbens.

Die Wassermenge, welche pro Sekunde disponibel ist, beträgt 0,003888 Kubikmeter, und der lichte Durchmesser der Fallröhren, in welchen das Wasser sich bewegt, 0,10 Meter (3,82"). —

Die Länge des Kolbenlaufes L ist gleich 0,80 Meter (2,55 Fuß); der Kolben macht pro Minute 10 einfache oder 5 Doppelläufe, seine Geschwindigkeit c pro Sekunde ist also

$$\frac{10}{60} \times 0{,}80 = 0{,}133 \text{ Meter.}$$

Daher ist Q oder 0,003888 $= \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot c$, woraus sich der Durchmesser des Treibkolbens

$D = 0{,}193$ Meter oder rund $= 0{,}20$ Meter ergiebt.

Das absolute Arbeitsmoment der Wassersäulenmaschine ist gleich $N_a = 13{,}333 \cdot 0{,}003888 \cdot 163 = 8{,}43$ Pferdestärken (nach §. 2).

Für die Berechnung des Regulirungskolbens war zunächst die Erfahrung bekannt, daß zur Bewegung derselben bei den senkrechten Reichenbach'schen Wassersäulenmaschinen eine Kraft von 50 Kilogr. hinreichend ist. — Es ist aber ausgemacht, daß die Reibung bei sich horizontal bewegenden Kolben viel beträchtlicher ist, und man hat bei dieser hier besprochenen Maschine die zur Ueberwindung der genannten Reibung bestimmte Kraft auf 75 Kilogr. festgesetzt; die Erfahrung hat auch bewiesen, daß dies das Minimum der erforderlichen Kraft sei —

Der Kolben m, welcher gewissermaßen der Motor der beiden andern N und O ist, hat eine Oberfläche, die man so berechnet hat, daß die Wassersäule auf die rechte Seite dieses Kolbens einen Druck von 150 Kilogr. ausübt; die entgegengesetzte Seite des Kolbens aber verliert etwa die Hälfte ihrer Oberfläche wegen der Stange, so daß der Druck der Wassersäule auf die linke Seite des Kolbens m plus dem geringen Ueberschuß des Druckes auf die linke Seite des Kolbens N, nur 75 Kilogr. beträgt. —

Der Kolben m wird ohne Unterbrechung durch die Wassersäule von links nach rechts gedrückt; dagegen verschwindet der Druck von 150 Kilogr. rechts bei einer gewissen Stellung der Kolben h und h_1 und es ist klar, daß alsdann der Druck von 75 Kil. seine Wirkung

macht und die drei Kolben O, m und N nach rechts treibt. — Wenn nun der Druck von 150 Kilogr. plötzlich auf der rechten Seite wieder erscheint, so resultirt daraus unmittelbar eine Kraft von 150 — 75 = 75 Kilogr., welche die 3 Kolben m, N, O wieder von rechts nach links treibt. —

Die Aufschlag-Wassermenge pro Sekunde beträgt 0,003888 Kubikmeter oder stündlich in runder Zahl 14 Kubikmeter, diese werden nachträglich in salziges, mit 25 g gesättigtes Wasser verwandelt, und diese daraus entstandene Soole nimmt ein Volumen 15,9 Kubikmeter ein, was pro Stunde gehoben werden muß, oder pro Sekunde 0,004416 Kubikmeter, und der Kubikmeter dieser Soole wiegt 1200 Kilogramm. — Die Leistung der Pumpe P ist demnach bei 87 Meter Förderhöhe

$$\frac{0,00416 \cdot 1200 \cdot 87}{75} = 6,14 \text{ Pferdestärken.}$$

Außerdem benutzt man die Wassersäulenmaschine dazu, um eine kleine (hier nicht gezeichnete) Pumpe in Bewegung zu setzen, welche den Zweck hat, das durchgesickerte Wasser zu beseitigen, das sich im Sumpfe fortwährend ansammelt, um es in die 4 Meter höher gelegenen Bassins zu schaffen. — Diese kleine Pumpe entwickelt eine Kraft von 0,37 Pferdestärken, und rechnet man dies den vorher gefundenen 6,14 hinzu, so erhält man die gesammte Leistung von 6,51 Pferdestärken. —

Da wir bei der Säulenmaschine 8,43 Pferdestärken gefunden hatten, so ist ein Nutzeffekt von

$$\frac{6,51}{8,43} \cdot 100 = 77,2 \text{ Procent. —}$$

Damit die Pumpe im Stande sei, 15,9 Kubikmeter Soole stündlich zu heben bei 0,80 Meter Kolbenhub und 10 einfachen Hüben pro Minute, gab man dem Cylinder einen Durchmesser von 0,22 Meter.

§. 42.

Wassersäulenmaschinen auf der Grube „Centrum" bei Eschweiler (Aachen) *).

(Taf. X.)

Diese Wassersäulenmaschine, welche im Jahre 1855 vom Oberbergrath Althans zu Sayner Hütte konstruirt, und in der von Bleuel'schen Maschinenfabrik daselbst ausgeführt wurde, bezweckt die Benutzung eines 45 Fuß (14,13 Meter) hohen Wassergefälles zur Hebung der Grubenwasser aus der in 63 Lachter Teufe unter Tage gelegenen Padtkohl-Sohle bis zu der hier 34,8 Lachter höher gelegenen Herrnkunst-Sohle. — Anstatt der nothwendig gewordenen Erneuerung eines der beiden bis dahin zu gleichem Zwecke gebrauchten oberschlägigen Rades von 42 Fuß Durchmesser (welches nebst Pum-

*) Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure. 1864. Bd. IV. S. 79, mitgetheilt vom Bergmeister Baur.

pengestänge durch punktirte Linien angedeutet ist), beschloß man dessen Ersatz durch eine Wassersäulenmaschine, weil bei solcher auch das geringste Quantum disponibler Aufschlagewasser ohne das Vorhandensein von Sammelteichen benutzt werden kann, und deshalb auch in trocknen Jahreszeiten, in denen die Räder wegen ungenügender Betriebskraft nicht mehr gehen konnten, die Wasserhaltung nicht ganz unterbrochen oder durch Dampfkraft betrieben zu werden braucht. —

1) Einfallröhren.

Die frühere Art der Benutzung der Wasserkraft, bei welcher das Rad mittelst eines doppelten Gestänges die Pumpen in dem 150 Fuß vor der Radstube entfernten Schacht in Bewegung setzte, was in **Fig. 1** durch punktirte Linien angedeutet worden ist, bedingte verschiedene Einrichtungen der neuen Maschine, besonders bei den Einfallröhren. Die frühere Radstube wurde zu einem Klärsumpf für die Betriebswasser eingerichtet und von ihm aus eine Röhrenleitung, bestehend aus 32 Zoll (43,8 Centim.) weiten und 10 bis 12 Fuß (3,14 bis 3,77 Meter) langen gußeisernen Rohrstücken zusammengesetzt, welche mit Gummirungen zwischen den abgedrehten Flantschen gedichtet wurden. — Diese Rohrleitung wurde bis zum Abflußstollen niedergeführt, und in diesem bis zum Schachte fortgeleitet. **Fig. 1, Taf. X.**

Im Schachte wurde der zur Aufstellung der Maschine erforderliche Raum von 30 Fuß (9,42 Meter) Länge, 14 Fuß (4,4 Meter) Weite und 43 Fuß (13,5 Meter) Höhe unterhalb der Stollensohle in einem festen, aber sehr klüftigen und deshalb der Unterstützung durch Mauerung bedürftigen Sandstein hergestellt, welche Arbeit, da während derselben der frühere vom Rad aus erfolgte Pumpenbetrieb nicht gestört werden durfte, große Schwierigkeiten verursachte, und durch Herausschießen kleiner Theile des Raumes und sofortige Sicherung derselben durch Mauerung bewirkt werden mußte. —

2) Cylinder und Kolben.

Der Treibcylinder der in diesem Raume aufgestellten Maschine hat einen Durchmesser von 4 Fuß (1,25 Meter); es bewegt sich in demselben ein auf 47 Zoll (1,23 Meter) äußern Durchmesser abgedrehter, oben offener Plungerkolben E, der am obern Ende des Cylinders durch eine mit gefetteten Hanfflechten gefüllte Stopfbüchse gedichtet wird. Diese Anordnung wurde der gewöhnlichern Einrichtung eines gegliederten Kolbens in ganz ausgebohrtem Cylinder vorgezogen, und hat sich dieselbe vollständig bewährt. —

Der unten offene Treibcylinder steht auf dem mittlern der drei an einander liegenden Theile des Fußkastens, die zusammen einen horizontalen Cylinder von 16 Fuß (5 Meter) Länge und 4 Fuß (1,25 Meter) Durchmesser bilden. Jeder der beiden äußern, ganz gleichen Theile hat an dem Kopfende den nothwendigen Ansatz für eine Stopfbüchse von 27 Zoll (70,6 Centim.) lichter Weite, oben den Ansatz zum Aufschrauben eines 4 Fuß weiten Cylinders, an beiden Seiten ein in

gewöhnlicher Weise zu verschließendes Mannloch von 3 Fuß (0,942 Meter) Länge und 27 Zoll Breite, und ruht mit den die Mannlöcher umgebenden kurzen Ansätzen auf niedrigen Füßen, welche auf der Sohle des Maschinenraumes aufstehen, und zur Vertheilung der Gesammtlast auf eine größere Fläche durch 4 Eisenbahnschienen unterzogen sind. Der schon erwähnte mittlere Theil liegt frei über dem Schachte, wird aber zwischen den beiden äußern durch Flantschen mit innern rundumlaufenden Vorsprüngen festgeschraubt. — Im Innern verengert sich das Mittelstück bis auf einen Cylinder von 30 Zoll (78,4 Centim.) Weite bei 2¾ Fuß (0,864 Meter) Länge, dessen mittlerer Theil 5 Zoll (13 Centim.) hoch ausgeschnitten ist, wodurch dem im Fußkasten befindlichen Wasser eine ringförmige 5 Zoll weite Einflußöffnung in den Treibcylinder geboten wird, sowie auch der Abfluß des Wassers aus dem Treibcylinder durch dieselbe erfolgt. — **Fig. 2 — 5** auf **Taf. X.**

In derselben Weise tragen die beiden Endstücke des Fußkastens vertikale Cylinder von 4 Fuß innerem Durchmesser und 12 Fuß (3,77 Meter) Höhe; sie sind oben mit Deckeln verschlossen. — Durch A führt die erwähnte Röhrenleitung für das Aufschlagwasser und bis zum untern Ende des Cylinders hindurch, während bei B ein gleiches Rohr in der halben Höhe beginnt, das bis zum Stollen aufsteigt, und die gebrauchten Wasser auf letzterm abführt. — An seinem obern Ende ist das Ausflußrohr durch eine Klappe K geschlossen, welche das Eintreten der Stollenwasser bei einem Ablassen der Maschine verhindert; das Einfallrohr hat an seinem vordern Ende eine gleiche Klappe K_1 zur Verhinderung des Eintritts von Wasser in demselben Falle, sowie außerdem an Eintritt in den Maschinenraum einen nach der Maschine hin sich öffnenden, weiterhin zu erwähnenden ähnlichen Abschluß K_{11}. (**Fig. 1, Taf. X.**) —

3) Innere Steuerung.

Je nachdem nun die eine oder andere der beiden Röhrentouren, resp. der beiden Cylinder, in welche sie münden, mit dem Treibcylinder durch die darunter liegende Oeffnung in Verbindung tritt, während gleichzeitig die Verbindung mit der entgegengesetzten abgesperrt wird, tritt das Aufschlagewasser in den Treibcylinder und hebt den Kolben mit der ihm angehängten Last, oder es drückt in Folge der letztern der Kolben die Wasser, die ihn gehoben haben, in den Abflußstollen. — Zur abwechselnden Herstellung der einen oder andern Verbindung und des gleichzeitigen Abschlusses nach der andern Seite bewegt sich im mittelsten Theile des Fußkastens der cylindrische Steuerkolben G von 27 Zoll (70,6 Centim.) Durchmesser und 11 Zoll (28,8 Centim.) Höhe, der abwechselnd auf der einen oder andern Seite der ringförmigen Oeffnung steht und zu diesem Zwecke einen Hub von 16 Zoll (41,8 Centim.) zu machen hat. — Um einen dichten Abschluß durch ihn zu bewirken, bewegt er sich mit seiner Liederung in einem genau ausgebohrten Cylinder, der mehrere 5 Zoll hohe Oeffnungen hat, die mit der ringförmigen Einflußöffnung in den Cylinder übereinstimmen, und in ihrer Breite zusammen ¾ der Peripherie

einnehmen (Fig. 5). — Die Liederung selbst besteht abwechselnd aus Leder- und Messingstreifen, die dem Durchmesser entsprechend abgedreht wurden, nachdem der Kolben zusammengeschraubt war. — Es ist dieser Cylinder in das Mittelstück vom Fußkasten in einer Weise eingesetzt, die dadurch bedingt worden, daß ursprünglich in denselben mit Lederriemen gedichtete Stopfbüchsen eingesetzt waren, in denen sich ein Steuerkolben mit abgedrehter Metallfläche bewegte. — Die Schwierigkeit der Unterhaltung dieser Stopfbüchsen, die eines Theils in ihrer Unzugänglichkeit, andern Theils in dem jedesmaligen gänzlichen Heraustreten des Kolbens aus der Liederung lag, veranlaßte die Aenderung, bei der jene Schwierigkeit ganz umgangen ist.

Wegen des Drucks der Wassersäule auf die Fläche des 27 Zoll Durchmesser haltenden Steuerkolbens würde dessen Hin- und Herbewegung einen unverhältnißmäßigen Theil der Kraft der Maschine absorbiren, wenn er in dieser Wirkung nicht unschädlich gemacht werden könnte. — Dies ist durch zwei, mittels einer in ihrer Axe durchgehenden Stange mit dem Steuerkolben verbundene Gegenkolben M bewirkt, die denselben Durchmesser wie jener haben, und sich in den Stopfbüchsen an den Enden des Fußkastens bewegen.

Es drückt nun sowohl die Säule der Betriebswasser, wie die Säule der Hinterwasser mit genau gleicher Kraft nach beiden Seiten, und es ist zur Bewegung des Steuerkolbens keine weitere Kraft anzuwenden, als die Ueberwindung der Kolbenreibung in dem Cylinder und den beiden Stopfbüchsen erfordert. — Die gewöhnlichere Einrichtung, bei welcher nur ein Gegenkolben, und zwar an der Vorderseite, von geringerem Durchmesser vorhanden ist, und bei der nur der Ueberschuß des Drucks zwischen beiden Wassersäulen ausgeglichen wird, zeigte sich, ursprünglich vorhanden, unter den hiesigen Verhältnissen nicht genügend wegen der geringen Gefällhöhe Der wechselnde Wasserstand im Obergraben und im Klärsumpfe, der bis zu 2 Fuß verschieden ist, beträgt bei dem Gefälle von 45 Fuß mehr als 4 Procent der Betriebskraft; er muß sich also in hohem Grade äußern und die Bewegung des Kolbens bei allen Abweichungen von dem Stande erschweren, für welchen die Berechnung der beiden Kolbenflächen vorgenommen ist. — Bei großen Gefällhöhen kommt das Schwanken des Wassers im Obergraben um so weniger in Betracht, als hierbei auch in der Regel die wirkenden Wassermengen und mit ihnen die Querschnitte aller Durchgänge und der diese verschließenden Kolben viel kleiner sind, und es genügt dann die gewöhnliche Einrichtung mit einem Gegenkolben vollständig, während hier eine Abänderung derselben sich nothwendig machte.

4. Aeußere Steuerung.

Die Einrichtung zur selbstthätigen Bewegung des Steuerkolbens und der damit verbundenen Gegenkolben war ursprünglich eine Pendelsteuerung und zwar in einer bei mehreren Wassersäulen durchaus bewährten Einrichtung ausgeführt. — Es zeigte sich aber sogleich, daß dieselbe unter den hiesigen Verhältnissen, bei denen wegen des geringen Gefälles so große Wassermassen in Bewegung kommen, mit

einem ruhigen Gange der Maschine nicht vereinbar war. Berücksichtigt man, daß die in der Röhrenleitung befindlichen Treibwasser 1256 Kubikfuß betragen, und diese Masse, für 4 Hube pro Minute, zu jeder Füllung des Treibcylinders nach Abzug der Zeit für Entleerung und Stillstand beim Wechsel nur 6 Sekunden gebrauchen darf, somit bei dem Durchmesser des Treibkolbens von 47 Zoll, eine Geschwindigkeit von $2\frac{1}{2}$ Fuß in den 32 Zoll weiten Röhren annehmen muß, so erklärt es sich leicht, daß rasche Aenderungen in dieser Bewegung, wie sie bei der Pendel- und jeder andern Gewichtssteuerung vorkommen, bedeutende Stöße in der Maschine verursachen. — Um diese zu vermeiden, erschien die Einrichtung einer Wasserdrucksteuerung nothwendig, und ist die dazu erforderliche Hülfsmaschine abweichend von der gewöhnlichen Weise konstruirt. — Die Verlängerung der Stange, welche die vorher beschriebenen drei Kolben verbindet, trägt nämlich in ihrem äußern Ende einen vierten Kolben N von 9 Zoll (23,5 Centim.) Durchmesser, der sich mit 16 Zoll Hub in einem Cylinder bewegt, was bewirkt wird durch den Druck des Wassers, das im Rohre O zugeleitet wird, welches vom Haupteinfallrohre abzweigt.

Die Abwechselung des Wasserdruckes auf die eine oder andere Kolbenseite wird durch einen Schieber ähnlich wie bei den Dampfmaschinen hervorgebracht. — Die hin- und hergehende Bewegung des Schiebers endlich wird durch 2 Knaggen bewirkt, welche an dem Pumpengestänge angeschraubt sind (**Fig. 2** und 3). Diese Knaggen P drücken bei Erreichung des höchsten oder niedrigsten Standes, somit bei Beendigung des Auf- und Niederganges einen Hebel nieder oder den andern in die Höhe; diese Hebel sitzen gemeinschaftlich auf einer Axe mit einem dritten Hebel Q, welcher durch die Stange R eine zweite Axe R_1 in Drehung setzt, und von dieser wird durch noch einen Hebel und die Stange S die Bewegung dem Schieber mitgetheilt. Das abfließende Wasser wird durch Rohr O_1 in das Steigerohr P abgeleitet. —

5. Belastung der Maschine.

Die Last, bestehend in dem im Schachte niedergehenden Gestänge und dem daran hängenden Kolben einer Hubpumpe von $18\frac{1}{12}$ Zoll (47,2 Centim.) Durchmesser, ist dadurch der Maschine angehängt, daß das Gestänge nahe unter derselben durch ein gußeisernes Mittelstück mit zwei zu beiden Seiten des Treibcylinders aufsteigenden schmiedeeisernen Stangen verbunden ist, die an beiden Enden eines dem Treibkolben aufgeschraubten Kreuzstückes aufgehängt sind, und sich deshalb mit dem Kolben auf- und niederbewegen. — Es trägt dies Kreuzstück gleichzeitig zwei hölzerne Puffer, die bei etwaigem Bruche des Gestänges das Heraustreten des Treibkolbens aus dem Cylinder dadurch verhindern, daß sie gegen einen Balken anschlagen, der durch eiserne, den Fußkasten der Maschine umfassende Stangen festgelegt ist und ohne ein Reißen dieser Stangen oder Aufheben der ganzen Maschine nicht in die Höhe weichen kann. — Außerdem trägt das Kreuzstück in der Mitte noch ein abgedrehtes 10 Zoll (26,15 Centim.) starkes

Rohr, welches durch seine Bewegung in einem festliegenden Messinglager dem Gange des Kolbens eine Leitung gewährt.

Das Pumpengestänge selbst besteht in der obersten 80 Fuß Länge (25,12 Meter) aus 9 Zoll Quadrat (23,5 Centim.) starkem Eichenholze mit Eisenbeschlägen an den Verbindungsstellen, weiter unten aus zweizölligem Rundeisen (5 Centim.); die Hubpumpe von $18\frac{1}{2}$ Zoll Kolben hat eine Höhe zwischen dem Ausguß und der Sumpfsohle von 232 Fuß (72,85 Meter), von denen 230 Fuß (72,22 Meter) nützliche Höhe sind. Das Wasserquantum, welches auf die Höhe gehoben wird, beträgt bei dem Hube des Treibkolbens von 7 Fuß (2,198 Meter) pro Hub 12,48 Kubikfuß (0,387 Kubikmeter) und bei 4 Huben pro Minute, die der für Wassersäulenmaschinen angemessenen Geschwindigkeit von circa 1 Fuß (0,314 Meter) pro Sekunde entsprechen, 49,92 Kubikfuß (1,161 Kubikmeter). — Außerdem ist an das Gestänge in einer Teufe von 116 Fuß unter der Stollensohle (bis dahin ist das Gestänge von Holz) der Kolben einer Druckpumpe angehängt, welcher $9\frac{7}{8}$ Zoll (26 Centimeter) Durchmesser hat und einen Theil des von der Hubpumpe geförderten Wassers von deren Ausguß um 116 Fuß höher bis zur Abflußstollensohle der Betriebswasser drückt. — Das Druckrohr T dieser Pumpe ist neben der Maschine vorbei bis zu einer solchen Höhe hinaufgeführt, daß die gehobenen Wasser mit den gebrauchten Treibwassern auf der Stollensohle abfließen können.

6. Regulirung des Maschinenganges.

Durch die oben beschriebene Anordnung der Druckpumpe wird ein Theil des Gewichtes vom Pumpengestänge ausgeglichen, und befördert somit die Druckpumpe einen gleichmäßigen Gang der Maschine. — Die weitere Regulirung wird erreicht durch den in der Maschine wirkenden hydraulischen Balancier und durch Windkessel.

Die Stellung der Maschine ist, wie schon erwähnt und aus den Figuren ersichtlich, unter der Sohle des Abflußstollens; in Folge dieser Aufstellung kann das gebrauchte Wasser nicht sofort abfließen, sondern muß zunächst auf eine mittlere Höhe von 26 Fuß (8,164 Meter) steigen, um welche Entfernung die untere Kante des Treibkolbens beim mittlern Stande unter dem Niveau des Wassers im Abflußstollen liegt. Das Rohr B und B¹, in welchem dieses Aufsteigen der gebrauchten Wasser stattfindet, bildet zunächst einen hydraulischen Balancier, der einen großen Theil des bei jedem Aufgange vorher mitgehobenen Gewichtes des Pumpengestänges ausgleicht und zwar bei der angegebenen Höhe von 26 Fuß und dem Kolbendurchmesser von 47 Zoll (1,23 Meter) den bedeutenden Theil von 19656 Zollpfund (9828 Kilogr.). — Ein zweiter Vortheil dieser Einrichtung liegt darin, daß beim Kolbenaufgang eine Gefällhöhe von 45 Fuß plus 26 Fuß vorhanden ist und also ein größeres Gewicht gehoben werden kann, somit eine größere lebendige Kraft entsteht, die gegen Ende des Kolbenlaufes durchaus nothwendig ist, um die wegen sich vermindernder Druckhöhe abnehmende Betriebskraft zu unterstützen.

Bei der Hubhöhe von 7 Fuß betrüge der Unterschied dieser Kraft vom Anfange und Ende des Hubes bei alleiniger direkter Verwen-

dung des nützlichen Gefälles von 45 Fuß = 15,55 Procent der größten Kraft; durch die tiefere Stellung der Maschine und dabei wirkende höhere Wassersäule von 71 Fuß (22,294 Meter) wird eines Theils dieser Unterschied auf 9,86 Proc. vermindert, andern Theils derselbe durch die lebendige Kraft ausgeglichen, welche durch die beim Anfange des Hubes vorhandene größere Kraft und dadurch zulässige Vermehrung der zu bewegenden Masse hervorgerufen wird. Diese Ausgleichung, die ebenso beim Niedergange wegen der dabei um $\frac{7}{26}$ = 27 Procent sich ändernden Hinterwassersäule nothwendig ist, erfolgt in dieser Weise so vollständig, daß die dazu anfangs projektirte Einrichtung, bestehend in einem Gewichtskasten (welcher bis zur ersten Hälfte des Kolbenlaufes als Last wirkt, in der zweiten Hälfte aber der Betriebskraft zu Hülfe kommt) sich ganz unnöthig zeigte, und eine Abnahme der Geschwindigkeit gegen Ende des Kolbenlaufes durchaus nicht bemerkbar ist.

Eine wesentliche Einrichtung zur Erzielung eines ruhigen Ganges der Maschine sind ferner die Windkessel, welche in dem, die untersten Enden des Einfall- sowie des Ausflußrohres umgebenden, 12 Fuß (3,768 Meter) hohen und 4 Fuß (1,256 Meter) weiten Cylinder bestehen. — Der erstere beseitigt den bei Wassersäulenmaschinen oft so unangenehmen hydraulischen Widder vollständig dadurch, daß beim Abschluß des Treibwassers die in der bewegten Wassermasse erzeugte lebendige Kraft ihre Wirkung auf die Kompression der das untere Ende des Einfallrohres umgebenden Luft bis zu ihrer vollständigen Abtödtung und dabei allmälig eintretenden Zustand der Ruhe äußern kann. — Zu gleichem Zwecke ist der das Abflußrohr umgebende Windkessel vorhanden, der hier aber natürlich in viel geringerm Grade vorhanden ist, so daß er wohl entbehrt werden könnte, ohne Beunruhigungen des Maschinenganges befürchten zu müssen.

Die in ersterem Windkessel durch die lebendige Kraft der bewegten Masse der Treibwasser erzeugte Kompression wird gleich beim Aufhören dieser Kraft, also beim Eintritt der Ruhe, sich in einem langsamen Zurückdrücken der Wasser äußern, wenn die Röhrentour offen bleibt. Der schon erwähnte am Eingange zum Maschinenraum darin befindliche Abschluß K_{11} (**Fig. 1**) bezweckt aber dadurch, daß er diesen Rücktritt nicht gestattet, in der Kompression der Luft im Windkessel nicht allein die Abtödtung einer schädlichen Kraft, sondern die Ansammlung derselben zu einer nützlichen Verwendung. — Diese soll dadurch geschehen, daß erst beim Wiedereröffnen des Cylinders für neue Treibwasser die komprimirte Luft Gelegenheit findet, sich wieder auszudehnen und dabei auf die in den Cylinder einströmenden Wasser drückt, somit die Wirkung derselben beim ersten Anfang des Hubes vermehrt, und hierdurch die Erzeugung einer noch größern, nach Obigem nützlich zu verwendenden lebendigen Kraft im Treibcylinder gestattet. — Die dadurch herbeizuführende größere Leistung der Maschine kann sich bei der gegenwärtigen Belastung nicht äußern; eine Vermehrung der letztern durch Vergrößerung der Pumpen ist dazu erforderlich, die bisher wegen nicht vorhandenen Bedürfnisses noch nicht ausgeführt worden ist, und wird deshalb auch der zur Benutzung der Luftkom-

pression im Windkessel bestimmte Abschluß in der Röhrenleitung bis jetzt wenig gebraucht.

Beide Windkessel haben zur Erkennung der Vorgänge in denselben gläserne Wasserstandszeiger w, und zum Ersatz der durch Undichtigkeiten des Gußeisens oder mit dem Wasser austretenden Luft kleine Druckpumpen w auf den Deckeln, mittels deren von Zeit zu Zeit der Wärter das nöthige Luftquantum erneuert.

Kleinere Einrichtungen zur Regulirung des Ganges der Maschine sind noch der die Wasser für die Steuercylinder mehr oder weniger abschließende Hahn in dem vom Windkessel zu jenem Cylinder führenden engen Rohr O und die Stellung zur Bestimmung des Laufs des Hauptsteuerkolbens. — Letztere wird durch eingesteckte Pflöcke in dem zwischen dem Fußkasten der Maschine und dem Steuercylinder liegenden Rahmen bewirkt, in welchem sich die Stange des Kolbens bewegt; sie können eines Theils den Steuerkolben in der Mitte oder an jeder andern Stelle seines Laufes festhalten, somit die Maschine durch gänzliches Absperren vom Fußkasten oder durch Verhinderung des Wechsels der Oeffnung im höchsten oder tiefsten Stande festhalten; andern Theils kann durch sie der Kolbenlauf beliebig unter 16 Zoll vermindert, dadurch die Größe der Ein- und Ausströmungsöffnung unter dem Cylinder beschränkt und der Gang der Maschine beliebig beim Aufgange oder beim Niedergange verzögert werden.

7. Leistung und Nutzeffekt der Maschine.

Der Effekt der Betriebskraft bei dieser Maschine ergiebt sich leicht aus einer Vergleichung des verbrauchten und gehobenen Wasserquantums in Verbindung mit der Gefällhöhe resp. Steighöhe.

Bei dem Durchmesser des Treibkolbens von 47 Zoll und seiner Hubhöhe von 7 Fuß erfordert jede Füllung des Cylinders 84,34 Kubikfuß. — Hierzu tritt die zweimalige Füllung des 9zölligen Steuercylinders mit $2 \times 0{,}58 = 1{,}16$ Kubikfuß, so daß überhaupt für jeden Hub 85,5 Kubikf. erforderlich sind, die bei einer Gefällhöhe von 45 F. $= 85{,}5 \cdot 45 \cdot \gamma = 3847{,}5 \cdot \gamma$ Fußpfund ergeben. Ein Verlust von Betriebswasser braucht nicht in Rechnung gebracht zu werden, da bei dem im Vergleich zu andern Wassersäulenmaschinen nur geringen Wasserdruck die Liederungen leicht vollständig dicht erhalten werden können und z. B. die Stopfbüchsen an den Kopfenden des Fußkastens nur dann und wann einzelne Tropfen durchlaufen lassen, die mehrentheils durch Andrehen einzelner Schraubenbolzen mit der bloßen Hand zurückgehalten werden können. — Die gehobenen Wasser bestehen in den beiden Mengen, welche die $18\frac{1}{12}$zöllige Hubpumpe aus dem Tiefsten 230 Fuß hoch auf die Herrenkunstsohle und die $9\frac{7}{8}$zöllig Druckpumpe von dieser Sohle bis zum Stollen bringt. — Erstere beträgt bei dem angegebenen Kolbendurchmesser und dem Hube von 7 Fuß, wie schon angegeben: 12,48 Kubikfuß und ergiebt bei der Höhe von 230 Fuß $= 2870{,}4 \cdot \gamma$ Fußpfund. Letztere ist bei $9\frac{7}{8}$ Zoll Durchmesser und 7 Fuß Hub $= 3{,}72$ Kubikfuß, also bei der Steighöhe von 116 Fuß $= 431{,}87 \cdot \gamma$ Fußpfund. — Beide Wassermengen ergeben also zusammen $(2870{,}4 + 3{,}72) \cdot \gamma$ Fußpfund $= 3302{,}27 \cdot \gamma$ Fußpfunde,

wodurch sich bei Vergleichung mit dem Betriebswasser der Quotient $\frac{3302,27}{3847,5}$, d. h. ein Nutzeffekt von 85,8 Proc. ergiebt. — Ebensowenig wie für Verlust an Betriebswasser, bedarf es eines Abzuges für Hubverlust in den Pumpen, da wiederholte Beobachtungen und Messungen ergeben haben, daß bei guter Einrichtung und Unterhaltung der Liederungen der Unterschied zwischen dem gehobenen Wasserquantum und dem vom Kolben durchlaufenen Raum bei Hubpumpen bis zum Unmeßbaren klein ist, bei Druckpumpen sogar ein Ueberschuß zu Gunsten des erstern sich zeigt.

Wollte man das Arbeitsmoment des Aufschlagwassers in Pferdestärken angeben, so wären in die Formel von §. 2

$$N_a = 0,127 \cdot Q\,H$$

die entsprechenden Werthe einzusetzen.

H ist = 45 Fuß.

Q ergiebt sich aus der Angabe, daß die Maschine mit der Geschwindigkeit von 1 Fuß pro Sekunde arbeitet, oder in der Minute 4 Hube oder Spiele macht; während dieser Zeit füllt sich der Treibcylinder 4mal und der Steuercylinder 8mal, was zusammen

$$4 \times 84,34 + 8 \times 0,58 = 342 \text{ Kubikfuß,}$$

oder pro Sekunde 5,7 Kubikfuß ergiebt, also $N_a = 0,127 \cdot 5,7 \cdot 45 = 32,57$ Pferdestärken.

§. 43.

Wassersäulenmaschinen zur Förderung bei Gruben*).

(Taf. XI, Fig. 1 bis 9.)

Sobald die Betriebswasser in solcher Weise zweckmäßig vorhanden sind, daß sie freien Abfluß haben, also nicht zu der Stollensohle einer Grube mittels Maschinen gehoben werden müssen, sind derartige Fördermaschinen anwendbar und vortheilhaft, weil die Betriebs- und Anlagekosten eines Dampfkessels gespart werden. Selbst an Stelle von Turbinen mögen dieselben zweckentsprechend einzurichten sein. — Die hier beschriebene Maschine (Zwillingsmaschine) ist im Jahre 1862 bei der Steinkohlengrube Gerhard Prinz Wilhelm, Bergamtsrevier Saarbrück, aufgestellt worden. Der nachstehende Bericht wurde geschrieben, als dieselbe bereits mehrere Monate in Betrieb war.

In der eben genannten Grube ist auf der ersten Tiefbausohle des Beustflötzes eine kleine Zwillingsmaschine ohne Schwungrad aufgestellt, welche mittels Wasser betrieben wird und zur Förderung dient. Die Betriebswasser werden auf der Veltheimstollensohle in einen dazu hergestellten Sumpfort von 51 Lachter = 340 Fuß Länge, 1 Lachter oder 6 Fuß 8 Zoll Breite und 5 Fuß Höhe querschlägig aus der Wasserrösche dieser Hauptstollensohle so hineingeleitet, daß 5 Fuß Wasserstand in dem Sumpforte vorhanden ist, wenn die Wasserrösche ihren gewöhnlichen Wasserstand besitzt. Dieses Sumpfort mündet an eine

*) Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, 1863, Band VII, S. 21; mitgetheilt vom Maschinenmeister Schönemann.

einfallende Strecke; an dieser Stelle ist dasselbe durch eine Mauer abgeschlossen, in welcher ein Rohr dicht eingemauert und auf der zugänglichen Seite mit einem Absperrventil versehen ist. Das Rohr ist circa 6 Zoll von der Sohle des Sumpfes entfernt und hat 7 Zoll lichten Durchmesser. An dieses Ventil wird ein Krümmer angeschraubt, welcher andererseits die Richtung der einfallenden Strecke erhält, woran nun gerade Röhren geschraubt werden, bis dieselben den Absperrschieber der Zwillingsmaschine zum Anschluß erreichen. Die genaue Länge dieser Röhrenleitung ist 624 Fuß, deren Neigung in dem einfallenden Schachte = 12 Grad. Die senkrechte Entfernung des Wasserspiegels in dem Sumpforte bis zur Einflußöffnung bei der Maschine ist = 129 Fuß. Der Röhrendurchmesser ist = 5 Zoll lichter Weite. Der Wasserlauf in den Röhren kann durch das Absperrventil beim Sumpfort abgeschlossen werden.

Die Wirkung des Wassers in der Zwillingsmaschine wird durch die in der Zeichnung dargestellte Einrichtung der Maschine leicht ersichtlich.

Fig. 1 zeigt in der Vorderansicht, wie zwei auf einem gußeisernen Gestelle befestigte Cylinder mit Kolben und Kolbenstange und der angebrachten sicheren Führung des Kreuzkopfes gegen den Horizont unter dem Winkel von 45 Grad geneigt, gegenseitig aber unter einem rechten Winkel gestellt sind und vermittelst je einer Kurbelstange auf den Stift des Krummzapfens wirken, welcher auf dem Ende einer Axe befestigt ist. Diese Axe ist, wie **Fig. 2** darstellt, durch 2 Hauptlager H, H getragen. An dem unmittelbar hinter dem Krummzapfen befindlichen Hauptlager sind beide Cylinder mit ihrer Steuerungsvorrichtung festgeschraubt. Die Axe besitzt hinter diesem Lager das bewegliche Steuerungsexcentrik S, ferner den Klauenring m m, die Bremsscheibe p und die beiden Fördertrommeln T, T. Die Trommeln sind auf gewöhnliche Art eingerichtet; sie können auf gerade nicht zweckmäßige Weise durch Ausziehen der Keile aus der Nabe verstellt werden.

Die Bremse ist auf gewöhnliche Weise mit Bremsband und Trittheb el eingerichtet. Zur genaueren Erläuterung der Steuerung dienen **Fig. 3** bis **8**. Das Excentrik S ist lose auf der Axe, besitzt jedoch zur Regulirung des Ganges der Maschine auf seiner hinteren Seite die Klaue k k angegossen, welche gegen die Klaue l des Klauenringes m stößt; da der Klauenring m, welcher in **Fig. 5** abgesondert gezeichnet ist, fest auf der Axe sitzt, wird also das Excentrik entweder durch die eine oder andere Seite der Klaue l mitgenommen, wodurch die Maschine sich rechts oder links steuert. Damit man das lose Excentrik wenden kann, ist ein Ring u durch angegossene Arme oder auf andere Weise mit demselben verbunden, welcher bei dem Gange der Maschine sich mitbewegt.

Die Steuerung erfolgt vermittelst zweier Kolben, von denen jeder aus zwei getrennten Lederscheibenlagen und Metallscheiben besteht, wie **Fig. 8** zeigt; dieselben werden vermittelst Muttern gegenseitig genau gestellt Der Arbeitscylinder Q und der Steuerungscylinder P sind aus einem Stück zusammengossen; ihre Vereinigung behufs Ein- und Austritt des Wassers geschieht an dem oberen Ende o und an dem unteren Ende o¹, **Fig. 6** und **7**, durch erweiterte rechteckige

Ringkanäle. Der Wasserzufluß erfolgt durch o^2; dieses Wasser tritt zwischen die beiden Steuerkolben und bei Bewegung der Maschine einmal über, dann unter den Kolben, ohne daß es anderweitig entweichen kann, während jedoch das zu einem halben Hub gebrauchte Wasserquantum beim ersten Male durch das Rohrstück R^1, beim zweiten Male durch das Rohrstück R^2 austreten und weiter abfließen kann. Die Arbeitskolben sind ganz ähnlich, wie die Steuerkolben eingerichtet. Die genaue Lage der Steuerung und deren Kolben ist aus **Fig. 3** ersichtlich, in welcher Figur auch die Lage des Krummzapfens gegen das Excentrik angegeben ist mit den Klauen kk und dem Klauenring m l. Der Krummzapfen bewegt sich hier, wie der angedeutete Pfeil zeigt. Der Gang der Maschine wird durch den Schieber W regulirt, während zum vollständigen Absperren des Wassers noch der zweite Schieber W^1, **Fig. 1**, angebracht ist.

Da man nun häufig die Bewegung der Maschine plötzlich anhalten muß, wodurch das mit entsprechender Geschwindigkeit in den Röhren bewegte Wasser vermöge seiner lebendigen Kraft leicht Rohrbrüche veranlassen könnte, so ist vor dem Regulirungsschieber W ein Windkessel von Eisenblech eingeschaltet, welcher in seinem oberen Theile Luft enthält, während das Einströmungswasser in dem unteren horizontal liegenden Verbindungsrohre vorbei strömt. Die in dem Kessel enthaltene Luft bildet bei etwaigen plötzlichen Stößen ein elastisches Kissen, während bei zu großen Stößen das angebrachte Sicherheitsventil Z sich öffnet und das Wasser entweichen läßt. Damit beständig Luft in dem Kessel vorhanden sei, ist bei y, **Fig. 1** und **2**, **Taf. XI** eine kleine Luftpumpe angebracht durch welche vermittelst des Röhrchens x die Luft eingepumpt werden kann. Von dem Stande der Luft oder des Wassers in diesem Kessel kann man sich durch einen angebrachten Wasserstandszeiger oder Probirhähne überzeugen.

Die Disposition der Maschine zeigt der Grundriß der Maschine **Fig. 9**, **Taf. X**; der Wasserzufluß durch die Röhrenleitung aus der einfallenden Strecke geschieht bei E.

Leistung der Maschine.

Dieselbe kann in einem mit Schienen versehenen gut eingerichteten flachen Schachte von 12 Grad Fall und 52 Lachter Länge innerhalb $1\frac{1}{2}$ Minuten 3 mit je 10 Ctr. geladene Wagen fördern, während 3 leere Wagen abwärts gebracht werden. — Die Wagen selbst müssen gut im Stande und geschmiert sein. Hierbei braucht die Maschine höchstens 80 Kubikfuß Wasser und macht 37 Umdrehungen. Die Kolbengeschwindigkeit berechnet sich bei 10 Zoll Kolbenhub pro Minute zu $41\frac{1}{2}$ oder pro Sekunde zu 0,685 Fuß, während die Schachtgeschwindigkeit 3,885 Fuß pro Sekunde ist, indem die Fördertrommeln 3 Fuß Durchmesser haben.

Der Durchmesser eines Kolbens ist $9\frac{5}{8}$ Zoll, dessen Hub 10 Zoll; demnach ergiebt sich bei dem vertikalen Druck der Wassersäule von 129 Fuß oder 3,94 Atmosphären und 72 Quadratzollen Kolbenquerschnitt eine Leistung in den beiden Kolben von

$$(72 \cdot 14 \cdot 3{,}94 \cdot 0{,}684) \cdot \frac{2}{480} = 11\tfrac{1}{3} \text{ Pferdestärken.}$$

Die entsprechende Leistung im Schachte ist

$$= 3 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{5} \cdot 3{,}885 \cdot \frac{1}{480} = 4{,}85 \text{ Pferdestärken.}$$

Demnach ein Wirkungsgrad $= \frac{4{,}85}{11\frac{1}{3}} = 0{,}428.$

Ein Uebelstand dieser Maschine besteht darin, daß man, behufs Lidern der Steuerungskolben, den Deckel M und die Kolben selbst ausziehen muß, das letztere aber nur dann geschehen kann, wenn die Axe mit den Fördertrommeln aus ihren Lagern gehoben wird. Höherlegen dieser Axe, Verlängerung der Kurbelstangen der Arbeitskolben und der Steuerkolben hilft diesem Uebelstande ab.

Die Kosten der Einrichtung einer solchen Förderung haben für die Beschaffung der Maschine 1330 Thlr., für Röhren und Absperrschieber 811 Thlr. betragen, excl. Aufstellung; wobei zur Maschine verwendet wurde 4800 Pfund Gußeisen, 1160 Pfund Schmiedeeisen, 120 Pfund Metall, 40 Pfund Stahl, 540 Pfund Blech; — zusammen 6660 Pfund.

§. 44.

Wassersäulenmaschine von Joy. *)
(Fig. 10 bis 13, Taf. XI.)

Diese Wassersäulenmaschine wurde angelegt, um die Blasebälge einer großen Orgel zu betreiben. — Verschiedene Bedingungen waren zu erfüllen für die Anordnung; hauptsächlich sollte die Kraft von einer beständig zugänglichen Quelle entnommen werden. Diese Bedingung verwies auf den aus der städtischen Leitung entnommenen Wasserdruck, als den einzig brauchbaren Motor, und verwandelte die Frage in die, eine hydraulische Maschine zu konstruiren, die nicht nur eine doppeltwirkende Bewegung übe, sondern auch auf einfache Weise eine Regulirung vom schnellsten bis zum langsamsten Gange erlaube, ohne einen todten Punkt zu geben; gleichzeitig aber vollständig frei von den Stößen zu sein, die Wasser unter hohem Druck zu verursachen pflegt.

Die Seitenansicht, **Fig. 10**, zeigt die Befestigung an den Blasebalg; **Fig. 11** ist ein Vertikaldurchschnitt durch den Cylinder; **Fig. 12** desgleichen durch den Schieberkasten; **Fig. 13** ein Horizontaldurchschnitt. A ist der Cylinder mit Kanälen wie die einer Dampfmaschine; B die Einlässe, C der Auslaß D ist ein gewöhnlicher Schieber, der durch die Verbindung mit einem kleinen Doppelkolben E bewegt wird, welcher in zwei Cylindern F an den Enden des Schieberkastens arbeitet. H ist das Wasserzuleitungsrohr. Die Kolben E werden durch den Wasserdruck bewegt, der in und aus ihren Cylindern durch einen kleinen Vierweghahn I gelassen wird. Dieser Vierweghahn wird durch

*) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1861, Band V, S. 82; mitgetheilt von E. Becker.

einen Hebel I' und eine Stange K gedreht, welche mittelst eines Armes k an der Kolbenstange fest ist und zwei Knaggen trägt, die sich verschieben lassen, um die Drehung des Hahnes zu ajustiren. — In der Auslaßöffnung des Vierweghahnes befindet sich eine Schraube L, durch welche die Durchflußöffnung verringert und der Ausfluß des Wassers aus den kleinen Cylindern F regulirt werden kann und damit die Bewegung des Schiebers D. O ist die Verbindung der Kolbenstange mit dem speisenden Blasebalg.

An dem Rohre H ist ein gewöhnlicher Hahn M angebracht, der durch einen Hebel N und Stange F mit dem Windreservoir P verbunden ist, und zwar so, daß wenn das Reservoir gefüllt ist, der Hahn M geschlossen und die Maschine in Ruhe steht, und wenn das Reservoir durch das Ausströmen der Luft sinkt, der Hahn M durch das Gewicht R geöffnet ist, und die Maschine arbeitet.

Fig. 10 zeigt die normale Stellung der Maschine, wenn das Wasser zugelassen und das Windreservoir voll ist. Die Maschine arbeitet dann außerordentlich langsam, hinreichend, um den Wind zu ersetzen, der durch etwaige undichte Stellen des Reservoirs entweicht. Sobald Wind dem Reservoir entzogen wird, öffnet sich der Hahn, und die Maschine arbeitet mit einer Geschwindigkeit, die dem Windverbrauch entspricht. — Derart ist die Winderzeugung immer ein Verhältniß zum Konsum, und ein Ueberblasen und unruhiger Gang, wie bei Handgebläsen, kann nicht eintreten.

Das Eigenthümliche der Maschine ist, daß sie eine Schieberbewegung, die in Bezug auf Geschwindigkeit zu reguliren ist, um Stöße des Wassers bei der Umwechselung des Hubes vollständig zu vermeiden, wie hoch auch immer die Wasserpressung sein mag; ferner eine Schieberbewegung, welche wirkt, wie langsam auch immer die Maschine arbeiten mag. — Aus den Zeichnungen ist ersichtlich, daß der Vierweghahn I eine vollständige Drehung von der Kolbenstange her empfängt, ehe der Schieber D sich überhaupt bewegt; d. h. die Bewegung des Schiebers D tritt ein, nachdem der Kolben seinen Weg durchlaufen hat. Wir haben also eine Maschine, die durch ein unelastisches Fluidum ohne Beihülfe einer Schwungmasse und ohne todten Punkt bewegt wird.

Nachdem die Principien der Maschine festgestellt und eine vollständige Bewegung erzielt war, fand sich, daß die Nothwendigkeit der Schmiere für den Schieber, obschon nur einmal im Monat erforderlich, doch ein entschiedener Uebelstand war; es blieb übrig auch diese Nothwendigkeit aufzuheben und eine Maschine zu konstruiren, die absolut keine Wartung bedingte. — Verschiedene Metalle von verschiedenen Härtegraden wurden versucht, ebenso verschiedene Methoden, um die Schmiere oder Feuchtigkeit auf den reibenden Oberflächen zu erhalten; aber alle diese Metalle fraßen und schliffen. — Alles dies verwies auf eine Anwendung ganz verschiedener Substanzen zu den reibenden Oberflächen; etwa Metall auf einer vollständig andern Masse. — Die Benutzung von Holzlagern zu den Schraubenwellen bei Dampfern führte zu dem richtigen Materiale, und nach einigen Versuchen wurde durch einen Pockholzschieber ein vollständig zufrieden-

stellendes Resultat erlangt. Auch Glas war versucht worden, doch schliff es sich erheblich schneller ab, als Holz 2c.

Joy hat mehrere Maschinen der Art konstruirt; in Glasgow arbeitet eine mit 7 Pfund Pressung pro Quadratzoll, und wirkt noch Kosten sparend. — Bei 45 Pfund pro Quadratzoll ergab sich (für englische Verhältnisse, wo Wasser billiger und Menschenkraft theurer ist, als in Deutschland) die Maschinenarbeit $\frac{1}{10}$ so theuer als Handarbeit, und das Resultat war ausgezeichnet durch eine vollständig gleichmäßige und stoßfreie Bewegung. — In der Regel machten die Maschinen 50 Doppelhübe (Spiele) pro Minute, konnten aber noch schneller arbeiten.

§. 45.

Wasserdruckmotor von Ramsbottom. *)

(Taf. VIII, Fig. 1 bis 5.)

Ramsbottom hat solche Wassersäulenmaschinen bereits vielfach und in den verschiedensten Größen gebaut, bis zu 2 Zoll (5,23 Centimeter) Kolbendurchmesser herunter, wenn der Wasserdruck stark genug ist. — Sie sind hauptsächlich für solche Etablissements bestimmt, die wenig Betriebskraft brauchen und sich in Städten befinden, wo Wasserwerke mit sehr hohem Drucke vorhanden sind, jedoch lassen sie sich auch unter andern Verhältnissen größer ausführen. — Die von Ramsbottom gebauten Maschinen sind so eingerichtet, daß sie zugleich als Wassermesser für die verbrauchte Wassermenge dienen, denn da ihr Hub bei jedem Spiele derselbe ist, so genügt es, einen Hub- oder Tourenzähler anzubringen, um die durch die Maschine gegangene Wassermenge während jeder Zeit genau festzustellen zu können.

In solchen Fällen, wo große Geschwindigkeitsänderungen und häufiges Anhalten erforderlich ist, und auch aus andern Gründen, sind eincylindrige Maschinen nicht zweckmäßig für rotirende Bewegung. — Bei zweicylindrigen Maschinen dagegen ist eine doppelte Steuerung nothwendig und es ist große Sorgfalt zu verwenden, daß durch die doppelten Ventile keine Gegenwirkung erzeugt wird. Abgesehen, daß die Maschinen auch sehr genau aufgestellt werden müssen, müssen alle Hülfstheile, wie Zugstangen, Gelenke 2c. zwischen Kurbeln, Kolben und Steuerungstheilen möglichst vermieden werden, weil Lockerheit in den Scharnieren nnd Vibration in solchen Stangen sehr verderblich in Maschinen wirken müssen, die wegen der Unzusammendrückbarkeit des Wassers kein Voreilen haben können.

Diese Gründe haben zu Maschinen mit oscillirenden Cylindern geführt, die in Fig. 1—5, Taf. VIII gezeichneten Abbildungen zeigen dabei noch eine aufrechtstehende Maschine, jedoch könnte dieselbe auch liegend gebaut sein.

Fig. 1 zeigt den Längendurchschnitt der Maschine mit theilweiser Ansicht, Fig. 2 eine Seitenansicht oder eigentlich Querdurchschnitt nach

*) Polytechnisches Centralblatt 1866, S. 842. Dingler, 1867. 1tes Maiheft. Bd. 184, S. 213.

der Linie 1—2 der **Fig. 1**, **Fig. 3** einen Horizontaldurchschnitt durch die Cylinder- resp. Steuerungsaxe; **Fig. 4** zeigt eine Ansicht des Steuerkastens und **Fig. 5** eine solche des Cylinders. A ist die Welle mit zwei in rechten Winkeln zu einander gestellten Kurbeln, B sind die Cylinder, welche um die festliegenden Axen schwingen; CC' sind zugleich Stell- oder Stützschrauben mit Gegenmuttern, um die Cylinderflächen an die Steuerkastenflächen dicht schließend anstellen zu können; gehärtete Stahlscheiben sind dazwischen angebracht, um die Abnutzung zu verringern. — Die Kolbendichtung besteht aus gewöhnlichen Ledermanschetten, wie der Durchschnitt bei **Fig. 1** zeigt, eine Konstruktion, welche sich bei Wassersäulenmaschinen immer als brauchbar erwiesen. — D ist der Steuerkasten, der durch eine vertikale Trennungswand nebst Nabe (**Fig. 2**) in zwei Abtheilungen getrennt ist, von denen die eine die Zuführungskanäle d, die andere die Austrittskanäle d' enthält. — Der Steuerkasten hat natürlich zwei einander parallele, ganz gleiche, den beiden Cylindern zugekehrte Seitenflächen mit sich genau einander gegenüberstehenden Kanälen, und das Centrum der kreissektorförmigen Zu- und Abführungsöffnungen ist zugleich der Mittelpunkt der Schwingungsaxe der Cylinder. — e sind die Oeffnungen an den Cylinderkanälen, durch welche bei ihrem Vorübergang an den Oeffnungen des Steuerkastens während der Oscillation der Cylinder das Wasser sowohl ein- als austritt. — Diese Oeffnungen e sind gerade so groß, als die Mittelrippe oder der Raum zwischen zwei Oeffnungen dd' am Steuerkasten breit ist, daher sind auf dem todten Punkte der Kurbel die Kanäle verschlossen. — In einer Wassersäulenmaschine müssen die Ein- und Austrittskanäle nicht nur bis Ende des Hubes offen sein, sondern die Querschnitte derselben müssen auch mit der wachsenden oder abnehmenden Kolbengeschwindigkeit größer oder kleiner werden, und dies Erforderniß stellt sich bei dieser Art Steuerung von selbst her, denn auf der Mitte des Hubes, bei der größten Kolbengeschwindigkeit, legen sich die Querschnitte der Cylinder- und Steuerkastenkanäle vollständig frei einander gegenüber und nach den todten Punkten zu nimmt der Querschnitt dieses geöffneten Raumes nach und nach ab bis Null, ein Moment wo die Kurbel auf dem todten Punkte steht. Während dies an einem Cylinder der Fall ist, steht der Kolben des zweiten auf der Mitte seines Laufes, das heißt die entsprechenden Zu- und Abgangsöffnungen sind in demselben Momente vollständig geöffnet.

Wollte man die Steuerung nicht so einrichten, so müßte man, um Stöße zu vermeiden, zur Anbringung von Windkesseln oder dergl. seine Zuflucht nehmen (vergl. die vorher beschriebenen Maschinen). Statt der ebenen Flächen am Steuerkasten könnte man auch konische anwenden, Ramsbottom hat aber bisher die ebene Form vorgezogen.

Die hier abgebildete Maschine ist leicht transportabel, kann in kurzer Zeit aufgestellt und in Gang gebracht werden; dabei gebraucht sie wenig Raum.

Viertes Kapitel.

Die Turbinen.

A. Allgemeine Beschreibung.

§. 46.

Unterschied zwischen Wasserrädern und Turbinen.

Wir haben gesehen, daß man sich bei der Mehrzahl der Wasserräder bemüht, das Wasser mit einer geringen Geschwindigkeit in das Rad treten zu lassen, und dasselbe dann so lange als möglich im Rade zu behalten, damit es durch sein Gewicht die Umdrehung des Rades bewirkt — Zur Erlangung der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser eintritt, ist also nur ein kleiner Theil des ganzen Gefälles verwendet worden, den größten Theil des Gefälles legt das Wasser zurück in der Maschine, dieselbe treibend. — Die Wirkung des Wassers durch sein Gewicht bedingt es daher, daß ein Wasserrad sich immer nur in einer vertikalen Ebene drehen kann, d. h. um eine horizontale Welle. — Nur bei den unterschlägigen Rädern im geraden Gerinne tritt das Wasser mit einer dem ganzen Gefälle entsprechenden Geschwindigkeit ein, wobei sich das Rad, getrieben durch die lebendige Kraft des Wassers, ebenfalls um eine horizotale Welle dreht.

Die Turbinen*) dagegen, welche in diesem Kapitel beschrieben werden sollen, sind Maschinen, bei welchen das Wasser stets mit einer Geschwindigkeit eintritt, die von dem ganzen disponiblen Gefälle resultirt, und es treibt deshalb das Wasser eine Turbine nicht durch sein Gewicht, sondern durch seine lebendige Kraft. — Diese Wirkung des Wassers veranlaßte anfänglich eine Konstruktion, bei welcher sich die Turbine in horizontaler Ebene dreht, die Welle derselben also vertikal steht, jedoch ist dies durchaus nicht unbedingt erforderlich, und in der That findet man jetzt auch vielfach Turbinen mit horizontaler Welle, welche ebenso wie die mit stehender Welle durch die lebendige Kraft des Wassers getrieben werden.

In Folge der größern Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser zur Turbine kommt, muß man besondere Vorrichtungen oder Apparate anbringen, welche das Wasser in der richtigen Weise einführen, es muß ferner der Querschnitt jeder Zelle möglichst dem bestimmten Wasserquantum entsprechen, denn jede Störung auf die Richtung des Wassers verursacht einen schädlichen Stoß, und jeder größere Querschnitt ein Verspritzen des Wassers, und durch das eine wie das andere wird der Nutzeffeit der Turbine herabgezogen.

Die **Turbinen** sind also hydraulische Motoren, deren Zweck die Erzeugung von Triebkraft durch die Benutzung der lebendigen Kraft

*) Turbinen, auch Kreiselräder genannt, von turbo der Kreisel.

des Wassers, es ist dabei gleichgültig, ob sie sich um eine horizontale oder vertikale Welle drehen; die Wasserräder dagegen drehen sich nur um eine horizontale Welle, und zwar die oberschlägigen Räder vorherrschend getrieben durch das Gewicht des Wassers, die unterschlägigen Räder vorherrschend durch die lebendige Kraft des Wassers.

Man sieht also, daß es eigentlich kein durchgreifendes Unterscheidungsmerkmal zwischen Turbinen und Wasserrädern giebt, denn so wie es Turbinen giebt mit horizontaler Welle, giebt es auch Wasserräder, welche durch die lebendige Kraft des Wassers getrieben werden. Man könnte eigentlich als weitgehendsten Unterschied anführen, Turbinen sind hydraulische Motoren, bei denen die Schaufelelemente des Wasseraustrittes an der dem Eintritt entgegengesetzten Seite liegen, bei denen das Wasser also durch die Radzellen hindurchgeht; während bei den Wasserrädern das Wasser an derselben Seite abfließt, von wo es zutritt, aber auch dies ist nicht ganz durchgreifend, wenn man sich an das Beispiel des Wasserrades mit innerer Beaufschlagung erinnert.

§. 47.

Theile einer Turbine.

Jede Turbine besteht aus einer Welle, welche in angemessener Weise gelagert ist, und welche ein Rad trägt, dessen Kranz mit Schaufeln versehen ist, so daß die sich bildenden Zellen zur Aufnahme des hindurchgehenden Wassers geeignet sind, wodurch die Turbine getrieben wird. — Jede Turbine ist ferner mit einem das Wasser zuführenden Apparate versehen, welcher Einlauf, Leitschaufelapparat, Leitrad genannt wird. — Das Leitrad dreht sich nicht, ist aber wie das Turbinenrad in Zellen getheilt, welche das Wasser durchströmt, um in einer der Wirkung angemessenen Richtung in die Zellen des sich drehenden Rades zu gelangen.

§. 48.

Erklärungen.

Je nach dem das Gefälle groß oder klein ist, unterscheidet man Hochdruck- und Niederdruck-Turbinen; ohne dabei eine bestimmte Grenze festzustellen, wird man von etwa 15 Fuß aufwärts die Turbine zu den Hochdruckturbinen zählen.

Wird ferner das Wasser auf der ganzen Fläche des Radkranzes zugeführt, so nennt man diese Konstruktionen Turbinen mit ganzer Beaufschlagung oder Vollturbinen, wird aber das Wasser nur auf einem Theile des Radkranzes zugeführt, so erhält man Turbinen mit theilweiser Beaufschlagung, die man auch Partialturbinen oder Tangentialräder nennt, und ist die letztere Bezeichnung besonders üblich, wenn das Wasser auf der äußern Peripherie des Kranzes zutritt.

Bei den Vollturbinen unterscheidet man noch verschiedene Systeme, je nach der Stellung des Leitschaufelapparates zum Turbinenrade. Ist das Leitrad innerhalb des Turbinenrades, und in derselben Horizontalfläche, so erhält man eine Turbine mit innerer Beaufschlagung, ist das Leitrad von demselben Durchmesser als das Turbinenrad und über dem Turbinenrade angebracht, so ist dies eine Turbine mit oberer Beaufschlagung, und ist endlich das Leitrad um die äußere Peripherie des Turbinenrades in derselben Horizontalfläche gelegt, so hat man eine Turbine mit äußerer Beaufschlagung.

§. 49.

Radkonstruktionen und Material für die einzelnen Theile.

Je nachdem eines der vorstehend genannten Systeme gewählt wird, unterscheiden sich die Turbinenräder dadurch, daß die Schaufeln zwischen zwei horizontalen Kreisringen angebracht werden, oder zwischen zwei vertikalen Cylinderflächen. Die Entfernung der beiden Kreisringe oder Cylinderflächen nennt man die Höhe oder Breite des Radkranzes, und hängt dieselbe bei dem bestimmten Durchmesser von der Wassermenge ab. — Da, was schon in §. 46 erwähnt und bei der Berechnung noch weiter ausgeführt werden wird, zur Erreichung des höchsten Nutzeffektes auch eine vollständig gefüllte Radzelle gehört, so hat man die Turbinen, um sie für verschiedene Wassermengen möglichst günstig arbeiten zu lassen, in Etagen oder Abtheilungen getheilt, der Art, daß man die Entfernung der beiden Radringe, also die Höhe oder Breite des Rades, durch parallele Zwischenwände in 2 oder 3 Theile theilt, und diese Theile durch besonders konstruirte Schützen öffnet oder schließt. — Die **Fig. 2** auf **Taf. XII**, **Fig. 1** auf **Taf. XVI**, so wie **Taf. XVII** und **Fig. 3** auf **Taf. XVIII** werden dies hinlänglich verdeutlichen.

Das Material für die Turbinen ist durchweg Metall, und zwar Schmiedeeisen, Gußeisen, Messing und Rothguß, zum Theil Stahl. — Turbinen aus Holz findet man wohl hier und da, wo es nur auf Wohlfeilheit bei überschüssigen Wasserkräften ankommt. — Dieselben sind nicht zu empfehlen wegen ihrer geringen Leistung und können im vorliegenden Buche deshalb keine weitere Beachtung finden.

Dagegen mögen noch diejenigen Turbinenkonstruktionen hier schon angeführt sein, bei welchen man den Leitschaufelapparat nur sehr unvollkommen ausführte oder ganz wegließ. — Meistens sind dies die ältern Turbinen, z. B. die schottische oder Whitelaw'sche auf **Taf. XII Fig. 12**, obschon man auch solche Konstruktionen in neuerer Zeit wieder versucht hat, wie das Beispiel **Fig. 10** und **11** auf **Taf. XII** zeigt.

Auch die Schraubenturbinen, **Taf. XII**, **Fig. 9**, und **Taf. XXII**, **Fig. 3** bis **6** gehören zu den Turbinen ohne Leitschaufelapparat.

§. 50.

Aufstellung der Turbinen.

Die Turbinen finden sich entweder nahe am tiefsten Punkte des disponiblen Gefälles aufgestellt, und sind die meisten der in den Tafeln gewälten Beispiele hierher zu zählen, oder die Turbinen sind, wie **Taf. XIV, Fig. 1** und **4** zeigt, in das Gefälle eingeschaltet, wo also unter dem Turbinenrade noch eine mehr oder weniger hohe vollkommen eingeschlossene Wassersäule sich befindet. — Theoretisch könnte diese Unterwassersäule derjenigen Wassersäulenhöhe gleich sein, welche dem Luftdruck das Gleichgewicht hält, also 10,33 Meter oder 32,9 Fuß betragen, und würde bis zu diesem Maße für die Arbeitsleistung der Turbine ebenfalls das ganze Gefälle, oder die Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel eintreten. — Aus praktischen Gründen nimmt man jedoch diese Unterwassersäule nicht höher als 20 bis 22 Fuß. — Diese Aufstellungsweise empfiehlt sich zuweilen für höhere Gefälle, da sie nur kurze Turbinenwellen beansprucht.

Die Turbinen können außerdem noch so aufgestellt werden, daß das Wasser frei über dem Unterwasserspiegel austritt, oder daß das Wasser unter demselben aus dem Rade entweicht. — Im letztern Falle legt man die Radstubensohle um die Turbine herum etwas tiefer, so daß sich ein Sumpf bildet, in welchen bei Turbinen mit Unterwassersäule das Abflußrohr hineinreicht. — Der Abstand desselben vom Boden des Sumpfes muß wenigstens so groß gehalten werden, daß die Größe dieser ringförmigen Austrittsfläche gleich dem Querschnitte des Abflußrohres ist.

§. 51.

Welle und Zapfen nebst Schmiervorrichtungen.

Während bei den Wasserrädern die Konstruktion der Wellen und namentlich die Lagerung der Zapfen eine sehr einfache ist, ist diese letztere bei den Turbinen mit vielen Schwierigkeiten verbunden; denn es ist nicht blos umständlich, zum untern oder Spurzapfen der Turbinenwelle zu gelangen, man muß auch besondere Anordnungen treffen, um dieselben schmieren zu können.

Die Wellen sind gewöhnlich von Schmiedeeisen, seltener von Gußeisen, obschon bei Anwendung der sogenannten Ueberwasserzapfen um die schmiedeiserne Welle eine gußeiserne hohle Hülse von gleicher Länge sich befindet. Solche Ueberwasserzapfen finden sich abgebildet **Taf. XII, Fig. 4, Taf. XIV, Fig. 6** und **7**, so wie **Fig. 2** und **3, Taf. XVI, Fig. 3**, und werden ebenso wie die Unterwasserzapfen **Taf. XII, Fig. 2, Taf. XIII, Fig. 3, Taf. XIV, Fig. 5**, so wie der Zapfen des Tangentialrades **Taf. XV, Fig. 2** bei den einzelnen Turbinen näher beschrieben werden.

Da diese letzteren, wie der Name angiebt, unter Wasser gehen, muß bei hohem Druck das Oel zum Schmieren in der Regel hinein-

gedrückt werden, mittelst einer sogenannten Schmierpresse, wie solche auf Taf. XIII Fig., 3 bis 6, sowie auf Taf. XIV, Fig. 1, abgebildet sind. Meistens führen 2 Schmierröhren zu einem solchen Zapfen, so daß durch eine Cirkulation des Oeles dasselbe besser vor dem Dickwerden geschützt wird. —

Eine eigenthümliche Konstruktion bietet der

Ueberwasserzapfen einer Niederdruckturbine*),

welcher auf Taf. XIV, Fig. 2 und 3, abgebildet ist und einer Turbine nach dem Henschel'schen System zugehört, welche sich aber nicht abgebildet findet. Bei niederen Gefällen sind Unterwasserzapfen an Turbinen unzuverlässig. Ein Abdichten der Stopfbüchse ist schwierig, noch schwieriger eine regelmäßige ununterbrochene Schmierung. Reparaturen sind aber bei dieser Art Turbinen stets äußerst umständlich, oft bei hohem Wasser unmöglich, wenn nicht die Einrichtung getroffen, daß der ganze Wasserbau abgesperrt und leer gepumpt werden kann. Alle diese Uebelstände haben mit Recht zu immer häufigerer Anwendung von Ueberwasserzapfen geführt, von denen der Fontain'sche bis jetzt einer der gebräuchlichsten ist.

Durch die nicht zu umgehende hohle Gußwelle mit schmiedeeiserner Stütze ist seine Ausführung gerade keine einfache und billige, außerdem erfordert derselbe unter dem Turbinenrade ein festes unwandelbares Fundament, welches bei dieser Art von Gefällen nicht immer gut zu beschaffen ist. Vorstehender Zapfen, einem sogenannten Propellerzapfen bei Schiffsschrauben vergleichbar (konstruirt vom Ingenieur Elsässer), umgeht diesen Umstand, indem solcher seinen Stützpunkt nur auf dem Lagergebälke des Turbinenbaues hat. — Die Führung der schmiedeeisernen Welle geschieht in einer mit Pockholz und Keilstellung versehenen Büchse, welche sich, im Teller des Leitrades eingehängt, leicht dort befestigen läßt. —

Die Lagerringe bestehen aus Glockenmetall, die Schmierung erfolgt durch 3 senkrecht niedergehende Schmierlöcher, welche auf jedem der Lagerringe mit entsprechenden radialen Kanälen kommuniciren. Drei Stützschrauben gestatten das genaue Justiren des Zwischenraumes von Leit- und Turbinenrad, außerdem ist die Lagerungsbüchse kugelförmig und ist dadurch ein inniges Berühren der Laufflächen unter allen Umständen gesichert. Außerdem sind Ringe und Büchse diametral durchschnitten, wodurch ein Reinigen oder Auswechseln des Apparates schnell und leicht bewerkstelligt werden kann. —

Bei der Konstruktion dieses Zapfens waren folgende Daten gegeben:

Umdrehungszahl der Welle pro Minute . . 40.
Totalbelastung des Zapfens, incl. Wasserdruck 8000 Pfund.
Druck pro □Centimeter Zapfenfläche . . . 50 Pfund.
Reibungskoefficient = 0,07. —

Würde nach obiger Annahme ein Fußzapfen gewöhnlicher Art konstruirt, so würde solcher einen Durchmesser von circa 15 Centime-

*) Sammlung von Zeichnungen der Hütte, Jahrgang 1863.

ter erhalten, und geht hieraus der Vortheil des beschriebenen Zapfens in allen den Fällen deutlich hervor, wo es sich erstens um leichte Zugängigkeit in der Behandlung handelt, ferner ein sicheres Fundament unter dem Rade nicht gut zu beschaffen ist, und endlich, wo man Ursache hat, den Zapfen pro Einheit seiner Grundfläche nicht allzusehr zu belasten.

Vorstehender Zapfen soll zur vollen Zufriedenheit arbeiten. (Unter dieser Voraussetzung mag man sich auch die Unbequemlichkeit gefallen lassen, das konische Getriebe auf der Transmissionswelle W erst verstellen oder diese selbst herausnehmen zu müssen, wenn die Turbinenwelle gehoben werden soll, weil sich das konische Rad auf derselben unterhalb befindet.) —

Ein Spurzapfen nach der Angabe von Rittinger findet sich **Taf. XXI, Fig. 2** und **3** abgebildet. In der Nabe K des Steges befindet sich der Spurzapfen der Welle. Am Boden der Nabe oder Büchse befindet sich die Zapfenunterlage l aus Hartguß mit zwei Stiften in der Basis, um das Mitdrehen zu verhindern. Oben ist die Büchse wasserdicht verschlossen und zwar mittelst eines Deckels o, welcher die Turbinenwelle dicht umschließt und mit seinem angegossenen untern Theile in die Büchse genau paßt. Zur Sicherung des luftdichten Schlusses bei einiger Abnutzung des Deckels dient ein nach unten gekehrter Lederstulp m, welcher mittelst einer Scheibe durch Schrauben gehalten wird. Dieser Stulp muß aus dem Grunde nach unten gekehrt sein, weil in der mit der Atmosphäre durch ein Schmierröhrchen in Verbindung stehenden Oelkammer der Büchse ein größerer hydrostatischer Druck existirt als außerhalb der Büchse, indem letztere vom Hinterwasser umgeben ist, dessen hydrostatischer Druck vom äußern atmosphärischen stets übertroffen wird. —

Zur bessern Vertheilung der Schmiere ist im Turbinenzapfen z von Stahl eine Rinne p eingefeilt und in der Mitte der Unterlage l ein vertikales Loch q gebohrt, das mit der horizontalen Bohrung r kommunicirt. Das in der Rinne p befindliche Oel wird bei der Umdrehung herausgeschleudert und durch neues ersetzt werden müssen, welches auf dem Wege r q in Folge der saugenden Wirkung nachdrückt. Auf diese Weise wird das Oel in der Kammer stets in Cirkulation erhalten. Erneuert wird dasselbe durch Zuleitung in ein bei s mündendes Röhrchen und durch gleichzeitiges Ablassen durch ein zweites mit der Oeffnung t verbundenes Röhrchen. Die Zu- und Abführröhren wie in **Fig. 5 Taf. XIV.**

§. 52.

Verminderung der Zapfenreibung durch Wasserdruck.

Der von Girard konstruirte sogenannte hydraulische Zapfen hat den Zweck, den Druck auf den eigentlichen Turbinenzapfen aufzuheben oder wenigstens zu vermindern; keineswegs wird der hydraulische Zapfen allein zur Anwendung gebracht, es wird vielmehr der sonst gewöhnliche Ueberwasserzapfen auch in diesem Falle von Girard noch beibehalten. —

Ein solcher hydraulischer Zapfen findet sich abgebildet **Taf. XX, Fig. 4 u. 5**, er besteht aus 2 Platten, von denen die untere aus Gußeisen und aus einem Stück mit dem Lagerstuhl sein kann, in welchem die feste Axe steht, obgleich dies nicht unbedingt nothwendig; die obere kann entweder aus Gußeisen oder Bronze sein und ist befestigt auf dem untern Ende der hohlen Turbinenwelle unterhalb des Turbinenrades. — Beide Scheiben haben kreisförmige Rinnen. — Das direkt aus dem Speiserohr der Turbinen entnommene Druckwasser wird nun mittelst einer kleinen Röhre durch eine Oeffnung o unter die Mitte der ringförmigen Oberfläche der Platten eingeführt, verbreitet sich zwischen beiden Platten, indem es die obere anhebt und durch kleinere Abtheilungen von dem innern nach dem äußern Umfange des ringförmigen Ansatzes wieder abfließt. — Auf diese Weise wird die direkte Berührung der metallischen Oberflächen der beiden Platten aufgehoben und die Reibung bedeutend vermindert. —

Girard hat auf diese Weise 2 Turbinen von je 135 Pferdestärken bei 50 Meter Gefälle für die Spinnerei Posaccio am Lago maggiore ausgeführt, wo die Scheiben des hydraulischen Zapfens zu 0,3 Meter angenommen wurden. Es bestimmt sich nämlich der Durchmesser dieser Scheiben nach der Größe des Gewichtes der Turbinen im Verhältniß der Gefällhöhe, welche unter den Platten den Gegendruck bewirkt. — **Tafel XIX, Fig. 1**, zeigt eine solche Turbine und die Anwendung des hydraulischen wie des Ueberwasserzapfens. — Die Turbine selbst ist eine Partialturbine. —

§. 53.

Leitschaufelapparate und Regulirungsschützen.

Dieselben sind je nach der Turbinenkonstruktion verschieden ausgeführt, immer jedoch schließen sich dieselben bei den Vollturbinen der ganzen Fläche des Radringes an, und sehen dem Kranze des Turbinenrades sehr ähnlich, nur daß sie feststehen, während dieses sich dreht. — Die Schützen zur Regulirung des Wasserzuflusses sind von sehr verschiedener Art. — Die Kurve der Leitschaufeln ist durch Rechnung je nach den Winkeln zu bestimmen. —

Bei den Turbinen mit innerer Beaufschlagung sind innerhalb des Leitrades auch die Schützen angebracht, zum Reguliren des Wasserzuflusses, **Taf. XII, Fig. 1 u. 2**. — Auch gehen bei dieser Konstruktion die Hälfte der Leitkurven (Leitschaufeln) bis an die Hülse des Radtellers, die andere Hälfte ist kürzer. —

Bei den Turbinen mit oberer Beaufschlagung hat das Leitrad zuweilen weniger Schaufeln als das Turbinenrad, oftmals nur halb so viel, **Tafel XII, Fig. 6, 7, 8**. — Jn jede Leitzelle reicht eine nach vertikaler Richtung verstellbare Schütze, und sämmtliche Schützenstangen sind in einem Kranze befestigt, welcher von oben hoch und tief gestellt werden kann. —

Einfacher sind die Regulirungsschützen, wenn sie als Klappen und Ringe ausgeführt werden, wie bei den Decker'schen Turbinen, **Ta-**

fel XVI bis XVIII, und werden dieselben, wie in den Figuren deutlich angegeben, ebenfalls von oben gezogen.

Eine andere Konstruktion findet sich **Taf. XIII, Fig. 10** und **11**, abgebildet, sie ist beschrieben in den Zeichnungen der Hütte, Jahrgang 1865, an einer von der Maschinenfabrik Hagans in Erfurt ausgeführten Turbine mit oberer Beaufschlagung. —

Aehnliche Konstruktionen sind zuerst von Henschel und dann von Hänel, beispielsweise bei Turbinen in Rothenburg und Penig, ausgeführt worden. — Die Abschützung der Leitschaufeln erfolgt durch zwei, diametral einander gegenüber liegende konische Rollen a, welche außer der Bewegung um ihre geometrische Axe eine auf dem Leitrade fortschreitende Bewegung besitzen um die Welle herum, so daß jede Rolle einen auf sie aufgewickelten Guttaperchastreifen auf eine halbe Ringfläche des Leitrades abrollen kann. — Durch die Axe jeder Rolle geht ein Bolzen, an dessen Enden die Arme einer Gabel b angreifen; diese Gabel sitzt mit ihrer Nabe drehbar auf einer horizontalen Axe c. — Um eine auf dem Leitrade angebrachte Hülse dreht sich ein etwas eigenthümlich konstruirtes Rad, dessen Nabe mit einer Metallpfanne versehen ist. — Das Rad selbst besteht aus zwei mit einander verschraubten Hälften, von denen die eine ein nach innen verzahnter Halbkreis d, die andere Hälfte nur ein Ring mit 2 Oehren e ist, welche die horizontale Axe c tragen. — In die Verzahnung des Kranzes greift ein Getriebe f, welches auf der vertikalen Welle g sitzt, deren Zapfen in einem mit Pockholz ausgekleideten Lager h steht. — Durch Umdrehen der Welle g wird der Zahnkranz bewegt und hiermit die Axe c mit den Rollen a verschoben, in Folge dessen sich die Rollen drehen und die auf sie aufgewickelten Guttaperchastreifen abgewickelt werden, und je nach dem Grade der Drehung wird das Leitrad geschlossen. — Wenn die Turbine bei solcher partiellen Beaufschlagung in Unterwasser taucht, so wird eine Luftverdünnung eintreten können, und diese ein Nachtreten des Unterwassers befördern, wodurch ein Kraftverlust entsteht. — Dies sollen Ventilationsröhren verhindern, welche Hänel an der Rothenburger Turbine angebracht hat.

Da sich mit dem durch die Abwickelung veränderten Durchmesser der Rollen deren Höhe über dem Leitrade etwas ändert, so kann sich die Gabel mit ihrer Hülse um die Axe c etwas drehen. Die Rollen müssen schwer genug sein, daß die durch ihr Gewicht auf den Streifen hervorgebrachte Reibung groß genug ist, um die Steifigkeit der Streifen zu überwinden und kein Gleiten zu gestatten. — Ein jeder der Guttaperchastreifen ist $\frac{1}{4}$ Zoll stark mit einem Ende an einer Leitschaufel, mit dem andern an der Rolle befestigt, und um ihm Widerstandsfähigkeit gegen den Druck des Wassers zu geben, mit schmiedeeisernen radial gesetzten Schienen versehen, welche an der äußern Peripherie $\frac{1}{8}$ Zoll stark und $\frac{7}{8}$ Zoll breit sind, sowie $\frac{1}{8}$ Zoll von einander entfernt, und durch 4 Kupfernieten mit dem Streifen verbunden sind. — Die Schienen verjüngen sich nach innen derart, daß die Spitzen der Ergänzungskegel bei jedem Durchmesser der Rollen in der Turbinenaxe liegen. — Auf diese Weise dient der Guttaperchastreifen nur als Scharniere für die Eisenschienen und als Abdichtung. Die Welle g wird oben ebenfalls in einem Lager geführt, und durch an=

gemessene Vorgelegewellen mit konischen Rädern vom Innern des Gebäudes aus gedreht. —

Außer den hier beschriebenen und gezeichneten Schützen sind noch viele andere Konstruktionen angegeben worden, z. B. ein drehbarer Ringschütze von Köchlin, und findet sich im Literaturnachweis mehreres über andere Regulirungsvorrichtungen angegeben. — Als Schützenvorrichtungen sind auch die Drosselklappen anzusehen, welche man bei Turbinen, die ins Gefälle eingeschaltet sind, im Unterwasserrohre anbringt, wie **Taf. XIV, Fig. 1,** zeigt. —

Bei den Tangentialrädern nimmt der Leitschaufelapparat nur einen kleinen Theil des Umfanges ein, es ist zweckmäßig, anstatt eines Einlaufes zwei annehmen, die sich diametral gegenüberliegen, wie auf **Taf. XV** und **Taf. XVI** ersichtlich. — Jeder der Einläufe **Taf. XV, Fig. 1,** ist durch zwei Kurven aus Schmiedeeisen in 3 Zellen getheilt, und es können mittelst Getriebes und Zahnstange alle Zellen geöffnet oder beliebig verschlossen werden, was sich in der Beschreibung dieses Tangentialrades noch näher angegeben findet. —

Bei Partialturbinen kann man auch die sogenannte Schmetterlingsschütze anbringen, wie solche Girard mehrfach ausgeführt hat, und wie dieselbe z. B. an der Turbine **Taf. XIX, Fig, 4,** sowie **Tafel XX, Fig. 3,** angebracht ist. —

§. 54.

Kranz und Schaufeln des Turbinenrades.

Bei den Turbinen von geringem Durchmesser ist in der Regel der gußeiserne Kranz durch eine tellerähnliche Verbindung mit der Nabe, durch welche die Welle geht, aus einem Stück gegossen; bei größern Turbinen ist der Kranz zusammengeschraubt mit einem besondern Armkreuz, das die Nabe trägt, zur Befestigung an die Turbinenwelle. — Der Kranz ist entweder ein einfacher oder er ist etagenförmig ausgeführt, wie **Tafel XII, Fig. 2, Tafel XVI** und **XVII**, auch **XVIII.** — Die Schaufeln, welche nach einer bestimmten durch Rechnung gefundenen Kurve geformt werden, fertigt man aus Schmiedeeisen oder Gußeisen. — Im ersten Falle werden sie entweder beim Einformen des Modelles mit eingelegt und also festgegossen, oder sie werden später an den Kranz geschraubt oder vernietet. — Die gußeisernen Schaufeln werden mit dem Radkranz ohne Weiteres in einem Stücke gegossen. —

Bei den Turbinen ist es vortheilhaft, die Höhe oder Breite des Rades an der Austrittsseite des Wassers größer zu nehmen, als an der Eintrittsseite, weil dadurch der Austrittswinkel kleiner werden kann. — Abgesehen hiervon bilden die Schaufeln bei Turbinen mit außerhalb, sowie innerhalb liegendem Leitrade einfach gekrümmte Flächen, während die Schaufeln bei den Turbinen mit oberer Beaufschlagung windschiefe Flächen bilden. —

§. 55.

Uebertragung der Kraft.

Dieselbe findet bei den Turbinen fast immer nur durch die Welle statt; in den meisten Fällen der Art, daß auf der Turbinenwelle ein konisches Rad sitzt, welches in ein zweites greift, das auf einer nach dem Gebäude führenden Transmissionswelle sitzt. — Es kann jedoch auch ein Stirnräderbetrieb von der Turbinenwelle ausgehen, wie dies für Mahlgänge ganz vortheilhaft und einfach ist. **Fig. 3 a, Taf. XV**, deutet eine solche Anordnung an. Auch **Taf. XXIV, XXV** zeigen Turbinen mit Stirnrädern auf ihren Wellen. — Ebenso kann auch auf der Turbinenwelle eine Riemscheibe angebracht werden, welche mittelst eines Riemens die Kraft weiter überträgt, wie dies beispielsweise bei der horizontalen Turbine **Taf. XIII, Fig. 3**, stattfindet.

In den gewählten Beispielen findet sich nur beim Turbinenrade von Girard, **Taf. XXII, Fig. 3** u. **4**, mit Leitkranz aber ohne Leitschaufeln, welches auch unter dem Namen Schraubenturbine vorkommt, zur Uebertragung der Kraft der Zahnkranz direkt an dem Kranze der Turbine angebracht. —

B. Beschreibung einzelner Turbinen-Anlagen.

§. 56.

Turbinen ohne Leitschaufelkranz.

Die ältesten Turbinen waren sämmtlich ohne Leitrad, und hatten eine vertikale Welle; am Kranze befanden sich die Schaufeln, schräge Flächen, welche von verschiedenster Form waren, und gegen diese trifft das Wasser, welches in einer besondern Rinne zugeleitet wurde. — Durch den Stoß des Wassers wurden die Räder in Umdrehung gesetzt. — Morin giebt an, daß die ersten Räder dieser Art, die Löffelräder, von einem Italiener, Ramelli, beschrieben worden sind, dessen Buch 1588 in Paris erschien. — Ein solches Rad befand sich nahe dem untern Ende einer stehenden Welle, welche oben den Läuferstein des zu betreibenden Mahlganges trug. —

Ebenso gehören die Borda'schen Turbinen, die von Belidor beschriebenen Kufenräder, die Danaiden u. s. w. hierher. — Vollkommener waren schon die Poncelet'schen Turbinen, bei welchen das Wasser eintritt und die Schaufeln in ähnlicher Weise geformt sind wie beim Poncelet'schen Wasserrade. —

Die schottischen, von Whitelaw und Stirrat konstruirten Turbinen haben 3 Röhren. **Fig. 12, Taf XII**, zeigt einen horizontalen Durchschnitt einer solchen Turbine, deren Rad aus Gußeisen hergestellt wird; das Wasser tritt durch ein senkrechtes Rohr, welches sich später umbiegt, von unten zum Rade, welches sich möglichst dicht über dem Zuführungscylinder bewegt. Die vertikale Welle trägt oben das Rad zur Uebertragung der Bewegung. —

Taf. XII, Fig. 10 u. 11, zeigt eine Turbine von Martin, ohne Leitschaufeln und mit äußerer Beaufschlagung, konstruirt von James Martin aus Florence in den vereinigten Staaten von Nordamerika. — Das Wasser gelangt aus dem Gerinneboden durch vier vertikale Röhren a in die vier horizontalen Leitkanäle b, von wo es zwischen die Radschaufeln tritt. Die letztern sind nach einem Radius gebogen, der gleich der Kranzbreite des Rades ist, und stehen die Schaufeln an dem äußern Umfang im vorliegenden Beispiel 4 Zoll engl. (10,16 Centim.) von einander, wobei das Rad 40 Zoll Durchmesser hat. — Nach innen verengt sich der Querschnitt der Zellen.— Dadurch, daß das Wasser von vier Seiten zutritt, ist jeder Druck auf die Axe vermieden. —

Das Schraubenrad von Girard, **Taf. XXII, Fig. 3 u. 4**, eine Turbine mit horizontaler Welle, bei welcher das Leitrad keine Schaufeln hat, sondern sich nur dadurch bildet, daß innerhalb des runden Gerinnes ein Mantel eingesetzt ist, so daß in dem sich bildenden ringförmigen Raume das Wasser den Schaufeln des Turbinenrades zugeführt wird. — Dieser vordere Blechmantel sowohl, wie der hintere, stehen fest und sind mit dem Gerinne durch Querarme in fester Verbindung, sie dienen gleichzeitig der Radwelle zur Lagerung, und damit man zu den Lagern gelangen kann, hat jeder der Mäntel an der entsprechenden Stelle ein Mannloch. —

Der hintere Blechmantel verhindert beim Austritt des Wassers die Wirbelbewegung desselben.. — Da der Austritt unter Wasser stattfindet, so ist hierbei die wirksame Druck- oder Geschwindigkeitshöhe für alle Wassertheile dieselbe, nämlich das Gefälle oder der Abstand zwischen Ober- und Unterwasser, und folglich auch die Wirkung des Rades an allen Stellen desselben gleich. —

Solche Räder sind bestimmt für große Wassermengen bei kleinem Gefälle von 50 — 60 Centim. (19 bis 23 Zoll). Für die Uebertragung der Kraft ist an dem Turbinenrade ein konischer Zahnkranz angegossen, der im Eingriff mit einem Rade steht, wodurch die Welle a in Bewegung gesetzt wird. —

In Bezug der Figuren möge noch bemerkt werden, daß **Fig. 3** eine Ansicht des Rades ist, gesehen von der Unterwasserseite her. —

§. 57.

Schraubenturbinen.

Dieselben sind ebenfalls den Turbinen ohne Leitschaufeln beizuzählen.

1. Schraubenturbine *),
Tafel XII, Fig. 9,

welche für die Baumwollenspinnerei von Plataret in St. Maur bei Paris aufgestellt wurde.

*) Le Blanc, 4 Part. Pl. 49 — 51. — Haindl, Maschinenkunde.

Die Turbine befindet sich in einem Schachte aus Mauerwerk und Holz (Radstube), oberhalb mit einem Breterboden, getragen von einem Holzgebälke, auf welchem sowohl die senkrechte Führung der Welle, andererseits die Vorrichtung zum Reguliren der Schütze festgeschraubt ist. Die eine schmale Seite der Radstube ist gebildet durch eine senkrechte Wand aus Ständern und Querbalken mit Bohlenverschlage, welche Wand die durch eine senkrechte, geradlinig bewegte Schütze verschließbare Oeffnung enthält zum Abzuge des benutzten Aufschlagwassers. — Diese Schütze S ist ähnlich der von Jonval, und allein vorhanden, und es steht bei ihrem gänzlichen Verschlusse das Rad still, indem das Aufschlagwässer den ganzen Raum der Radstube ober- und unterhalb erfüllt; durch das Aufziehen der Schütze tritt das Rad in Bewegung. —

Die Turbine besteht in einer doppelgängigen Schraube m von Gußeisen, welche in einem festen, innen ausgedrehten und polirten Rohre von Gußeisen geht, in der das Aufschlagwasser auf die Gänge dieser Schraube drückt und an deren Unterseite bei den zwei Oeffnungen austritt. — Die Welle ist ähnlicher Art angeordnet, wie bei den Turbinen von Fontaine. — Die feste schmiedeeiserne Axe L steht im Pfannenbehälter L', der obere Theil der Axe ist **Taf. XIV, Fig 6,** besonders gezeichnet und ersieht man hier den Stahlzapfen A, die eiserne Büchse B, die Messingbüchse C mit der Spurplatte D aus gehärtetem Stahl, auf welcher der Zapfen A läuft, und den Keil F, welcher B und L mit einander verbindet. — Der Zapfen A paßt in den Konus A' des Obertheils der gußeisernen hohlen Turbinenwelle M, und trägt so das ganze Gewicht der Turbine. — Ihre vertikale Führung erhält die Turbinenaxe durch ein an den obern Balken angebrachtes dreiflügeliges Kreuz und durch das untere Kreuz n. — Auf dem untern Ende der Axe ist die Turbine m mit Keil und 2 Druckschrauben befestigt. —

2. Schraubenrad mit horizontaler Welle.

Tafel XXII, Fig. 5 u. 6.

Dasselbe ist von Courdin konstruirt und für die kleinsten Gefälle anwendbar.

Fig. 5 besteht aus einer doppelgängigen Schraube, die sich in einem kreisförmigen Gerinne bewegt; man wendet ein solches Rad an für kleine Gefälle und beträchtliche Wassermengen. — Mit Rädern von wenigstens 6 Meter Durchmesser kann man 12 — 15 Kubikmeter pro Sekunde ausnutzen, bei kleinen Gefällen selbst bis 20 Centimeter Höhe.

Fig. 6 stellt ein Rad dar, welches ebenfalls doppelgängig ist, wobei aber noch jeder Gang 2 Windungen macht, während beim vorigen jeder Gang nur eine Windung; dabei ist die Steigung oder Ganghöhe anfänglich kleiner als am Ende des Rades. Bei dieser Anordnung sinkt das Wasser nicht so plötzlich, als bei der vorigen, deshalb man diese anwendet für kleinere Wassermengen oder bei etwas größern Gefällen. —

Bei mehr als 3 Meter Gefälle wird man im Allgemeinen solche Räder nicht anwenden, und überhaupt nur da, wo die Anschaffungskosten klein bleiben sollen, denn der Nutzeffekt wird nie so hoch sein, als bei einer Turbine. —

Wenn die Räder einen kleinen Durchmesser haben bei höherem Gefälle, muß man dieselben in ein geschlossenes Rohr legen, wie die vorher beschriebene vertikale Schraubenturbine.

§. 58.

Turbinen mit innerer Beaufschlagung.

1. Fourneyron-Turbine *) in der Mahlmühle zu St. Maur bei Paris. Tafel XII, Fig. 1, 2, 3.

Dieselbe besteht aus dem Rade A aus Guß- und Schmiedeeisen, welches auf der Welle B fest aufgekeilt ist, aus dem Leitschaufelapparat C, gleichfalls aus Guß- und Schmiedeeisen und aus der Schütze D, theils aus Guß- und Schmiedeeisen, theils aus Holz und Leder. Der aus Gußeisen bestehende untere Radkranz oder Teller A ist mit der gußeisernen Welle B mittels eines aus 2 Theilen bestehenden, außen konischen Ringes i aus Schmiedeeisen, eingelegt in eine in der Welle ausgedrehte Nuth, und einem Schlußkeil verbunden, hat 4 kreisrunde Oeffnungen o und trägt die 30 krummen Radschaufeln aus Eisenblech mit einem aus gleichem Materiale bestehenden Oberkranze und zwei solchen Zwischenkränzen, durch welche drei Abtheilungen (Etagen) a^1 a^2 a^3 gebildet sind. C die gußeiserne Unterplatte, zur Abhaltung des größeren Theiles des Druckes auf den Spurzapfen, und als Trägerin der Leitschaufeln b, ist an ihrem untern Ende auf die feststehende gußeiserne Röhre E, ähnlich dem Rade A durch einen aus 2 Theilen bestehenden schmiedeeisernen Ring i' befestigt, und trägt 24 Leitkurven b aus Eisenblech, von welchen die Hälfte bis an die Röhre E reicht und mit ihr verbunden ist, während die zweite Hälfte erst in einer bestimmten Entfernung von der Röhre E beginnt und am Boden mit der Platte C verbunden ist. — Die Röhre E ist an ihrem obern Ende mit horizontalen eichenen Balken, sowie unterhalb durch ein Halsband g mit Schrauben f befestigt, welche letztere von 3 gußeisernen Trägern h ausgehen, die ihrerseits auf dem flachen Rande des gußeisernen Rohres F durch Schrauben befestigt sind. — Das Rohr F bildet den Aufschlagwassereinlauf, sowie die Direktion für die Stellfalle oder Schütze D und ist durch Schrauben mit starken Balken H aus Eichenholz verbunden, welche die Träger des Aufschlagewasser-Reservoirs bilden.

Die Schütze besteht aus einem gußeisernen Rohr D, gehalten durch 3 Schrauben I, von welchen jede an ihrem obersten Ende ein Gewinde trägt, dessen Mutter mit einem Stirnrade in fester Verbindung steht. Diese 3 Räder greifen in ein Rad, welches, durch ein Vorgelege, be-

*) Le Blanc, Portefeuille ind. 3 Part. Pl. 31 — 34; — Haindl, Maschinenkunde.

stehend aus einem Getriebe, einem auf derselben Axe festen Schraubenrade, einer Schraube und 2 kleinen Stirnrädern, mit Kurbeln in Bewegung gesetzt, die zuerst erwähnten 3 kleinen Stirnräder gleichzeitig bewegt, so daß also der ganze Stellfallenring D gleichmäßig gehoben oder gesenkt wird. — Dieser Ring D hat an seinem obern Ende einen auf ihm durch Schrauben befestigten Lederring d (Stulp), welcher, indem er sich an die innere platte Fläche des Rohres anlegt, den wasserdichten Schluß herstellt. — An seiner inneren Seite trägt der Ring, durch Holzschrauben mit ihm verbunden, krumme Hölzer G, welche zwischen die Leitschaufeln b gut eingegossen; dieselben sind unten und oben abgerundet zur Verminderung der Kontraktion. —

In Bezug auf den untern Wellzapfen ist folgende Einrichtung getroffen: Am untern Ende der Welle B ist der Zapfen k, aus Stahl und gehärtet, in die Welle cylindrisch eingesetzt und durch einen Schließkeil mit ihr fest verbunden; seine untere Fläche ist aber nicht konvex, sondern hohl ausgedreht, und er steht auf einem, an seiner Oberseite konvexen Zapfen l, gleichfalls aus Stahl und gehärtet, welcher in eine metallene Büchse m cylindrisch eingesetzt und durch Warzen mit ihr in fester Verbindung steht; ein messingener Ring j, verbunden mit dem Wellende umgiebt beide Zapfen k und l; diese Metallbüchse m wird ihrerseits wieder getragen von einem gußeisernen Spurlager X, welches mit seiner Unterseite auf einem Hebel Y aufliegt, und mit einer schmiedeeisernen Axe p und am andern Ende mit einer Schraube y verbunden ist, welche an ihrem obern Ende durch einen gußeisernen Träger y' mit Doppelmutter gehalten wird. — Diese ganze Hebelvorrichtung dient zum Tragen der Pfanne m, so wie zum Erhöhen der Welle B mit dem Rade. Der Zapfen k hat in der Mitte nach seiner Länge ein eingebohrtes Loch, während der untere l an seiner krummen Außenseite 3 nach seiner obern konvexen Seite gehende Kerben hat, durch welche die Schmiere nach aufwärts zwischen k und l gelangen kann, welche durch eine kupferne Röhre n in die Büchse m eingepumpt wird.

2. Turbine Tafel XXIII, Fig. 1 bis 3.

Eine andere Art der Turbinen mit innerer Beaufschlagung ist dies in sofern, als dabei das Wasser von unten zugeführt wird; dieselbe ist in Malapane in Oberschlesien ausgeführt worden und findet sich beschrieben in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingen. Jahrgang 1859. Nagel hatte schon früher solche Turbinen mit Wasserzuführung von unten ausgeführt. — Das Gefälle bei der abgebildeten Turbine ist 7 Fuß bei 17 Kbfß. Wasser pro Sek. —

Eine einfache Konstruktion, Anordnung des Spurzapfens über Wasser und bequeme Art des Wasserbaues lassen in einzelnen Fällen diese Anordnung vortheilhaft erscheinen.

Das Wasser kommt durch das Rohr a in das Leitrad b, aus welchem es in das Turbinenrad c tritt, welches auf der stehenden Welle d befestigt ist, deren Spurzapfen e Fig. 3 — im Detail gezeichnet ist. —

Die Anzahl der Leitschaufeln beträgt 24, die der Radschaufeln 32. — Die Schaufeln selbst sind ⅛ Zoll stark und auf gewöhnliche Weise mit umgebogenen Rändern befestigt. —

§. 59.

Turbine mit oberer Beaufschlagung (System Fontaine) *).

Taf. XII, Fig. 4 — 8 und Taf. XIV, Fig. 7.

Der oberhalb angebrachte Zapfen trägt das ganze Gewicht der Turbine. — Dieser Zapfen dreht sich mit einer hohlen gußeisernen Säule A, an deren obern Ende eine Erweiterung A' angegossen ist. — Die Axe B steht fest und ist in der Fußplatte C gut befestigt. — Der obere dickere Theil a dieser Axe ist mit einer messingenen Pfanne b versehen, und in diese ist eine Spurplatte c von gehärtetem Stahl eingelegt, auf welcher sich der Zapfen d dreht. Letzterer ist von Schmiedeeisen, unten angestählt und weiter oben mit einem Gewinde versehen, über welches eine Mutter geschraubt wird, um die Höhe der Turbine zu reguliren. Soll die Bewegung der Turbine in ein höher gelegenes Stockwerk fortgepflanzt werden, so kuppelt man auf die Säule A eine Axe E und läßt den Zapfen e in dieselbe hineinreichen.

Das Rad besteht aus dem Kranze F, welcher mit Schrauben mit dem Teller H verbunden ist, und die Nabe des letztern ist an die sich drehende Axe mit Schrauben h befestigt. — Die 3 Oeffnungen g in dem Teller gestatten, daß man das Innere reinigen und zu den verschiedenen Schrauben kommen kann. Ueber dem Rade ist der Leitschaufelapparat angebracht, welcher halb so viel eingegossene Schaufeln hat, als das Rad. — Der Leitschaufelapparat ist mit Schrauben k auf Balken befestigt, welche in das Fundamentmauerwerk eingelassen sind, und ist in dem Armkreuz ein Lager m angebracht, um die Turbinenaxe in vertikaler Richtung zu erhalten. Der obere Theil des Apparates und der hölzerne Boden n sind rundum abgerundet, um beim Wassereinfluß die Kontraktion zu verringern. Die aus 2 Theilen bestehende Röhre K dient dazu, um zu verhindern, daß das Wasser zu den Lagern m gelangen könne. — Fontaine bringt eben so viele Schützen an, als Schaufeln im Leitrade sind, also 32. — Jede der Schützen besteht aus einer rechtwinkeligen gußeisernen Platte p, deren kleine Vorsprünge in Nuthen eintreten, die sich in den beiden Ringen des Leitrades befinden. Die Rückseite einer jeden Schütze p ist mit einem abgerundeten Holzstücke versehen, um dem Wasser so wenig als möglich Widerstand darzubieten. Im tiefsten Stande bedecken die Schützen die Eintrittsöffnungen zum Rade vollständig; um sie in die Höhe ziehen zu können, ist an jeder eine Stange j befestigt, welche sämmtlich an den Ring I angebracht sind, der in seinem Innern Ohren t trägt, um in denselben die 3 Zugstangen N befestigen zu können. Diese haben am obern Theile Gewinde und gehen durch metal-

---

*) Armengaud, Publicat. industr. 4 Vol. — Haindl, Maschinenkunde. — Le Blanc, 4 Part. Pl. 19, 20.

lene Muttern in den Naben der Zahnräder M, welche durch eine Kette f' mit einander verbunden sind. — Eines dieser Räder ist mit dem Stirnrade P verbunden, welches in ein Getriebe greift, dessen vertikale Axe ein Winkelrad a' trägt, welches durch b' getrieben wird; auf der Axe c' dieses letzteren ist innerhalb des Gebäudes ein Schwungrad mit Kurbel angebracht. — Das dreiarmige Kreuz L hat in seiner Nabe eine Metallhülse m', um der Turbinenaxe als Führung zu dienen. — Die Stellringe auf den Zugstangen N stoßen an den Boden an, und zeigen auf diese Weise an, daß die Schützen vollkommen geöffnet sind, so daß man sicher ist, daß dieselben niemals aus den Nuthen des Leitrades herauskommen. —

Diese Turbine, welche eine Mahlmühle mit 4 bis 5 Paar Steinen zu treiben hat, arbeitet bei einem mittleren Gefälle von 1,40 Meter. Sie hat 64 Schaufeln, deren Krümmung durch 2 Kreisbögen gebildet wird, von denen der eine a' b' seinen Mittelpunkt o' auf der Horizontallinie hat, welche mit der obern Fläche der Turbine zusammenfällt; der andere hingegen b' c' hat seinen Mittelpunkt o oberhalb dieser Linie. Betrachtet man die Ebene am äußern Radkranze, so findet man als Radius des ersten Kreisbogens ungefähr 0,18 Meter und als den des zweiten 0,30 Meter. — Die Krümmung der Leitschaufeln besteht ebenfalls aus Kreistheilen, an welche sich aber ein kleines gerades Stück e' d' anschließt. Der untere Bogen a' e', dessen Mittelpunkt o^2 ist, ist derjenige, welcher das Wasser auf die Radschaufeln leitet; er hat einen Radius von 0,28 Meter, so daß er mit der Horizontallinie o' a' einen Winkel von 11—12° beträgt.

§. 60.

Turbinen nach dem Systeme Henschel (Jonval). *)
Taf. XIV, Fig. 1 und Fig. 4.

Es sind dies Turbinen mit oberer Beaufschlagung, welche entweder zu Ende des Gefälles aufgestellt oder auch in dasselbe eingeschaltet werden, indem dann unter der Turbine ein vollständig geschlossenes Rohr, welches erst hinter der Drosselklappe Oeffnung zum Abfluß hat, bis ins Unterwasser führt. — In Fig. 1 ist das Leitrad A unmittelbar auf dem Gerinneboden befestigt, darunter befindet sich das Turbinenrad B, dessen Welle mit ihrem Spurzapfen in einem eisernen Bock C ruht, und oben im Lager D geführt wird. Die Kraft wird durch das konische Räderpaar EE¹ übertragen an die Transmissionswelle, welche ins Gebäude führt. — Nahe über dem Unterwasserspiegel ist eine Drosselklappe F, um den Abfluß des Wassers und somit auch die Beaufschlagung reguliren zu können, denn es darf in der Hinterwassersäule keinerlei Unterbrechung odrr Störung durch Luftzutritt stattfinden, weil sonst das Gefälle verloren gehen würde. Die Drosselklappe trägt außerhalb des Mantels ein Segment G, dessen Zähne in eine Schraube ohne Ende H eingreifen, welche auf einer Welle I sitzen, die bis über den Fußboden der Turbinenkammer führt,

*) Zeichnungen der Karlsruher Maschinenbauschule 1859—60.

und dort durch ein konisches Räderpaar und Kurbel gedreht werden kann, welche ihre Unterstützung in einem Gestell K finden. — Die Schütze L dient zum Verschluß des ganzen Gerinnes und wird dieselbe von innen aus durch die Kurbel M gezogen.

Um die Turbine sammt Welle heben zu können, ist seitwärts eine Winde N an die Mauer befestigt, deren Kette über eine Rolle O weggeführt wird, senkrecht über der Welle, und wird der Kettenhaken in den Ring der Welle eingelegt, wenn dieselbe gehoben werden soll.

Das Schmieren eines Unterwasserzapfens, welches in **Fig. 5, Taf. XIV** im größern Maßstabe dargestellt ist nach Radtenbachers Konstruktion, erfolgt derart, daß das Oel durch ein Röhrchen r zugeführt wird, während ein zweites Röhrchen s aus dem Lager fortführt. Durch Stellung eines Hähnchens an diesem Röhrchen s ist die Oelmenge zu reguliren, das Ablaufende fließt in das außen am Turbinenmantel befestigte Gefäß t. Damit das Oel überhaupt zutritt, wird es durch die Schmierpresse P eingedrückt. Wenn dieselbe gefüllt wird, befindet sich der Kolben vermittelst der kleinen Kurbel in seiner tiefsten Stellung, durch angehängte Gewichte wird derselbe nach oben gezogen und das Oel wird dem Spurzapfen zugeführt; die Größe des Gewichtes bedingt die Geschwindigkeit des Kolbens, also die Menge des Oeles in einer bestimmten Zeit.

Diese Turbine, **Fig. 1**, ist für eine Wassermenge von 0,9 Kubikmeter (29 Kubikfuß) pro Sekunde konstruirt, und giebt bei 4,5 Meter Gefälle einen Nutzeffekt von 37 Pferdestärken, bei 118 Umdrehungen pro Minute.

Bei der zweiten Anordnung, **Fig. 4**, kommt das Aufschlagwasser durch das Rohr A aus dem Reservoir, welches außerhalb des Gebäudes, in den Behälter B, an dessen Flantschen der Turbinenmantel angeschraubt ist, mit dem Leitrade C und dem Turbinenrade D. — Die Axe der Turbinenwelle tritt oben durch eine Stopfbüchse und trägt außerhalb ein Rad, wie es oder Uebertragung an die Arbeitsmaschinen angemessen ist. — Die Turbine befindet sich innerhalb des Gebäudes und die Länge der Welle ist auf diese Weise vom Gefälle unabhängig, die Turbine kann am tiefsten Punkte des Gefälles oder, wie hier angenommen, in dasselbe eingeschaltet sein.

Aehnliche Anordnung haben einzelne der auf **Taf. XIX** und **XX** gezeichneten Turbinen von Girard, obschon dieselben nicht in das Gefälle eingeschaltet sind.

§. 61.

Turbinen mit äußerer Beaufschlagung.

1) Turbine, **Taf. XIII, Fig. 1** und **2**. Diese von Prof. Fink in Berlin konstruirte Turbine ist zuerst beschrieben in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Bd. VIII. (1864.)

Es ist eine Turbine mit äußerer Beaufschlagung (Wasserzufluß) und innerem Wasserabfluß, und außerdem mündet das Abflußrohr unter dem Wasserspiegel des Unterwassers, so daß das ganze Gefälle

wirksam wird, obschon die Turbine nicht am tiefsten Punkte des Gefälles aufgestellt ist.

Als besondere Eigenthümlichkeit an dieser Turbine haben wir die Leitschaufelkonstruktion anzuführen; diese Leitschaufeln sind so geformt, daß der Eintritt des Wassers durch die Leitkanäle mit möglichst geringer Kontraktion erfolgt. Ferner sind die Schaufeln um feste Axen drehbar, und da sich alle stets um gleiche Winkel und gleichzeitig drehen lassen, so behalten die Zuflußkanäle auch bei etwaiger Drehung ihre vortheilhafteste Gestalt. — Die Drehung der Leitschaufeln erfolgt mit Hülfe der an den Schaufeln befestigten Arme a, welche gegen Stifte des Ringes b sich anlegen, und ist das Mittel zur Regulirung des Ganges. Man ersieht leicht, daß es nur einer geringen Drehung des Schützringes bedarf, um sämmtliche Zellen gleichzeitig zu öffnen oder zu schließen.

Zur Ausführung dieser Drehung dienen die beiden stehenden Wellen c, welche am obern Ende mit zwei gleich langen und gleich gerichteten Hebelarmen e versehen sind, deren Enden eine Zugstange verbindet, an die sich eine Kette anschließt, so daß also die Winkelbewegung der einen Welle in gleichem Maße auf die andere übertragen wird. Die untern Enden der Wellen tragen jede ein Rabenstück d mit 2 Zähnen, welche in zwei andere kleine Zahnsegmente eingreifen, die am Ringe b befestigt sind.

Man beachte, daß der Drehpunkt der Schaufeln so liegt, daß diese immer durch den Wasserdruck das Bestreben haben, die Zellen zu öffnen; dadurch legt sich der Arm a einer jeden Schaufel stets fest an den zugehörigen Stift des Ringes b. — Kommt aber ein fremder Körper in die Zelle, so kann die Schaufel zurückklappen, und der Körper kann sich nicht zwischen dem Turbinen- und Leitrade einklemmen, sondern geht in die Turbine hinein und bleibt bis zu einer Reinigung derselben sitzen. — Besser ist es freilich, wenn durch einen Rechen andere Körper abgehalten werden, so weit zu kommen.

Durch den über die Turbine gelegten Deckel, welcher den ganzen Wasserdruck aufnimmt, ist dieser dem Rade abgenommen, und der Spurzapfen hat somit nur das Gewicht des Rades und der Welle zu tragen. Durch zwei Stellschrauben läßt sich das Rad leicht in die richtige Horizontalebene bringen und erhalten.

2) Turbinen mit äußerer Beaufschlagung sind zuerst von Francis in Amerika gebaut worden, auch findet sich eine solche Turbine vom Professor Zeuner beschrieben und berechnet im Polyt. Centralblatt 1855. — Im Allgemeinen finden diese Turbinen bei uns nicht die Anwendung, die sie eigentlich verdienten, denn wie später bei der Berechnung gezeigt wird, kann bei ihnen unter sonst gleichen Verhältnissen die Austrittsgeschwindigkeit am kleinsten werden.

Man könnte sowohl Leitrad als Turbinenrad mit Etagen konstruiren, und dann wäre eine Cylinderschütze außerhalb des Leitrades für verschiedene Wassermengen nicht schwierig auszuführen. — Man kann aber auch unter Anwendung von Rückschaufeln und beim Ueberwassergange eine Schützenvorrichtung anbringen, mittels welcher solche Turbinen bei kleinen Wassermengen als Partialturbinen arbeiten können.

Der Zapfen kann als Unterwasser-, besser noch als Ueberwasserzapfen wie bei jeder andern Turbine ausgeführt werden.

§. 62.

Turbine mit horizontaler Welle.
(Taf. XIII, Fig. 3.)

Dieselbe befindet sich in Mandelholz, dient zum Betriebe eines Ventilators und ist vom Maschinenmeister Jordan in Clausthal konstruirt. Professor Rühlmann beschreibt dieselbe in Dingler's Journal Bd. 150, (1858) S. 4. — Das Aufschlagwasser beträgt $5\frac{3}{4}$ Kubikfuß hannov. (4,6 Kubikfuß preuß.) bei $22\frac{1}{4}$ Fuß (20,7 F. preuß.) Gefälle; es wird durch das Rohr A zugeführt, gelangt in den horizontalen Behälter B, mit Deckel C und Stopfbüchse E, und von hier durch das Leitrad E in das Turbinenrad F, welches auf der Welle G befestigt ist, deren Umdrehungszahl 500 pro Minute beträgt. — Das abfließende Wasser wird zuerst vom Cylinder H aufgenommen, welcher wieder mit Deckel und Stopfbüchse versehen ist, und fließt durch das Rohr I ab.

Die äußerst sorgfältige Anordnung des Endzapfens m der Turbinenwelle G, dessen Aufnahme im verschlossenen Oelgefäße N mit Oelbehälter P, erhellt aus der Zeichnung, und wird nur bemerkt, daß die Deckel p und r den Stopfbüchsen K und D aus Rothguß angefertigt und betreffende Lederstulpe der Dichtungen in der Zeichnung ganz schwarz angegeben sind, so wie auch der ganze Hals D nebst der Schmierpresse S aus Rothguß besteht. Endlich werde noch erwähnt, daß der in der Welle G eingesetzte Spurzapfen m aus Gußstahl, das durch eine Schraube s stellbare Lager n jedoch ebenfalls aus Rothguß hergestellt ist.

Die Schmierpresse S ist in Fig. 4 bis 6 noch besonders abgebildet. Wenn das eigene Gewicht des Kolbens nicht ausreicht, wird derselbe durch Gewichte niedergezogen, welche an Stangen hängen, oder auf die in Fig. 1, Taf. XIV angegebene Weise. — Damit beim Hochziehen des Kolbens c, um frisches Oel einzuführen, nicht das in der Stopfbüchse befindliche Oel durch den Wasserraddruck zurückgetrieben wird, ist das Lederscheibchen mn angebracht, welches sich gegen die Fläche q legt, und so die Oeffnung von S verschießt. — Wird der Kolben niedergedrückt, so legt sich die Scheibe mn auf vier kleine Stege r und verschließt die Zugangsöffnung nur theilweise, das Oel wird also in die Stopfbüchse gedrückt.

Die Leistung dieser Turbine wäre bei 66% Nutzeffekt 8 Pferdestärken, zur Uebertragung der Kraft dient eine Riemscheibe, welche auf der horizontalen Welle an dem Ende z sitzt.

§. 63.

Tangentialrad.*)

(Taf. XV.)

Dasselbe dient zum Betriebe der Mehl- und Makkaronifabrik von Herrn Fischer in Harzburg.

Die Einströmung des Wassers findet auf zwei diametral gegenüberliegenden Punkten statt, wodurch die seitliche Zapfenreibung aufgehoben wird; ferner ist die Höhe des Rades am innern Umfange größer, als am äußern genommen, wodurch es ermöglicht wird, ohne die Ausströmungsöffnung zu verringern, den Winkel δ möglichst klein zu nehmen, was bekanntlich den Effekt erhöht.

Das Gefälle H vom Oberwasserspiegel bis Mitte Rad beträgt 43 Fuß (13,5 Meter). Die Einströmung in das Rad findet, wie die Zeichnung angiebt, durch zwei Leitschaufelapparate statt, von denen jeder 3 Zoll hat. Die Geschwindigkeit c, mit welcher das Wasser aus den letzteren tritt, berechnet sich, wenn man mit Rücksicht auf die Reibungsverluste den Koefficient 0,89 einführt, zu

$$c = 0,89 \sqrt{2 \, g \, H} = 0,89 \sqrt{62,5 \cdot 43} = 46'$$

Der Winkel α der Leitschaufel ist hier zu 12° angenommen und der Eintrittswinkel β für die Druckschaufel etwas abweichend von der gewöhnlichen Regel nicht genau gleich 2α, sondern gleich 27° angenommen. — Es berechnet sich daher die Umfangsgeschwindigkeit v des Rades nach dem Parallelogramm der Geschwindigkeiten:

$$v = \frac{c \cdot \sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} = \frac{46 \cdot \sin 15^0}{\sin 27^0} = 26,6'$$

und da der äußere Durchmesser des Rades von 5' einem Umfange von 15,7 entspricht, so macht das Rad:

$$\frac{26,6 \cdot 60}{15,7} = 100 \text{ Umdrehungen pro Minute.}$$

Das mittlere Wasserquantum beträgt 12 Kubikfuß pro Seck und ist das Rad derartig berechnet, daß, wenn alle 6 Leitzellen geöffnet sind, ein Wasserquantum von 17 Kubikfuß nutzbar gemacht werden kann. Es beträgt nämlich der normale Querschnitt einer Zelle an der Austrittsöffnung:

$$1 \times 9 = 9 \,\square'' = \frac{9}{144} \,\square'$$

Also kann durch alle 6 Zellen bei 46′ Geschwindigkeit ein Wasserquantum von

$$\frac{9}{144} \cdot 6 \cdot 46 = 17 \text{ Kubikfuß}$$

strömen.

---

*) Sammlung von Zeichnungen der Hütte. Jahrgang 1865.

Bei einem Wasserquantum von 12 Kubikfuß berechnet sich der absolute Effekt des Rades zu

$$N_a = \frac{12 \cdot 62 \cdot 43}{480} = 66{,}65 \text{ Pferdestärken.}$$

Rechnet man den Nutzeffektskoefficienten zu 0,66, was nach den stattgehabten Versuchen gerechtfertigt erscheint, so ergiebt sich der Nutzeffekt

$$N_n = 0{,}66 \cdot 66{,}65 = 44 \text{ Pferdestärken.}$$

Um die Leitzellen nach Bedürfniß öffnen und schließen zu können, befindet sich in jedem Leitschaufelapparate ein Schieber, welcher durch Zahnstange und Getriebe, sowie durch Schneckenräder, in welche die Schrauben k_1 k_2 eingreifen, mittels der Griffräder l_1 l_2 bewegt werden kann.

Die an den Schiebern befestigten Stangen m m bewegen jede einen Zeiger, welcher auf einer in der Nähe der Griffräder angebrachten Skale angiebt, wie viel Zellen geöffnet sind. Um die Deutlichkeit der Zeichnung nicht zu beeinträchtigen, sind letztere fortgelassen.

Die Einströmung kann endlich sofort durch die Drosselklappe r, **Fig. 3**ᵃ, welche ebenfalls mittels Schneckenräderwerkes bewegt wird, gänzlich aufgehoben werden.

In dem gußeisernen Zuleitungsrohre befindet sich ferner am tiefsten Punkte desselben ein Ablaßstutzen s, sowie ein Mannloch, behufs etwaiger Reinigung von Schlamm ꝛc.

In den Leitschaufelapparaten sind die Schaufeln im Boden mittels der Zapfen w festgenietet, während die obern Seiten derselben nur in kleinen Nuthen der Apparatdeckel liegen.

Die Radschaufeln sind in dem obern schmiedeeisernen Kranz mittels der Zapfen w ebenfalls festgenietet, während an den untern Seiten nur an zwölf Schaufeln Zapfen durch den schmiedeeisernen Kranz gehen, ohne jedoch festgenietet zu sein. Beide schmiedeeiserne Kränze bestehen aus 2 Theilen, und zwar ist der obere bei p mittels zweier übergelegten ½" starken Blechplatten zusammengenietet, und der untere bei q vermittelst zweier untergelegten Blechstreifen durch Schrauben verbunden, daß derselbe jederzeit ab- und auseinander genommen werden kann. Der obere Kranz ist mittels der Schrauben n an den gußeisernen Teller angeschraubt, während die Schrauben c durch das ganze Rad hindurchgehen.

Die Spurpfanne hat folgende Einrichtung: In dem außen achtkantigen Spurkasten u befindet sich die Spurplatte g. Dieselbe ist von Gußstahl, gehärtet und mittels eines von unten excentrisch eingeschraubten Stiftes vor Drehung bewahrt. — Auf derselben liegt die Zwischenplatte f von Rothguß, auf welcher der ebenfalls gehärtete Gußstahlspurzapfen e läuft. Ein oberhalb des Zapfens in der Welle angebrachtes Loch hat nur den Zweck, den Zapfen bequem lostreiben zu können.

Die Schmiere wird dem Zapfen im Mittelpunkte von unten her zugeführt vermittelst zweier Kupferrohre, welche bis über die Mühlen-

sohle hinaufgehen, und oben mit Oelgefäßen versehen sind. Um die Spurpfanne von abgesetztem Schmutz bequem reinigen zu können, hat man nur nöthig, die beiden Büchsen d, so wie den Holzzapfen h loszunehmen.

Der getheilte gußeiserne Ring, so wie die beiden Schrauben bei i haben den Zweck, das Rad, welches sich auf einer festen Feder schieben läßt und außerdem mittels eines von unten anzutreibenden Keiles befestigt wird, an diesen Schrauben heben und senken zu können, um dasselbe, trotz Abnutzung der Spurfläche, doch auf seiner richtigen Höhe in Bezug auf die Leitschaufelapparate erhalten zu können.

Die beiden Leitschaufelapparaten sowie der Spurpfanne gemeinschaftliche Sohlplatte ist durch 10, mittels Blei vergossener Schrauben auf den Fundamentschrauben befestigt.

Die gußeisernen Zuleitungsrohre, **Fig. 3** und **3a**, sind mit Muffen in einander gesteckt und mittels Eisenkitt verdichtet. — Die Verbindung des obern Rohrendes mit dem Wasserkasten zeigt **Fig. 3**, wo der Boden des letztern wie der Rohrflantsch mittels eines breiten Lederringes bedeckt werden, welcher wiederum mittels zweier schmiedeeisernen Ringe auf Rohr und Kasten befestigt ist. Diese Verbindung gestattet eine in Folge der Temperaturveränderung stattfindende Ausdehnung oder Zusammenziehung der Rohrleitung.

Dieses Rad wurde im Jahre 1860 in der Gräfl. Stolberg'schen Maschinenfabrik zu Ilsenburg gebaut. — Der Obergraben hat eine Breite von 5½ Fuß bei einer Wasserstation von 3 Fuß, so daß bei der größten nutzbar zu machenden Wassermenge von 17 Kubikfuß dasselbe die Geschwindigkeit von 1 Fuß nicht überschreitet.

Das Rad betreibt 4 Mahlgänge, 1 Spitzgang, Fahrstuhl, Mehlcylinder ꝛc., so wie die zur Makkaronifabrikation nöthigen Maschinen, als ein Knetwalzwerk und eine dreifache Schraubenpresse. — Die Mahlgänge haben Steine von 4 Fuß Durchmesser und machen 125 Umdrehungen pro Minute, es läßt sich daher der Kraftbedarf derselben zu je 6 Pferden annehmen. — Die Maschinen zur Makkaronifabrikation bedürfen etwa 4 Pferdestärken. — Es würde demnach im Ganzen bei vollem Betriebe die Kraft von 30 Pferden nöthig sein, also die vorhandene Wasserkraft bis jetzt noch nicht vollständig ausgenutzt sein, was auch in Wirklichkeit der Fall ist.

§. 64.

Partialturbine. (Taf. XXII, Fig. 7 bis 9.)

Diese von Rittinger in seinem Buche*) angegebene Turbine hat eine horizontale Welle, auf welche das Turbinenrad befestigt ist. — Der Zufluß des Wassers erfolgt durch ein vertikales Rohr, welches mit einer Drosselklappe versehen ist, und an dieses Rohr schließt der Leitkanal an, welcher nach dem Turbinenrade hinführt.

---

*) Theorie und Bau der Rohrturbinen, von Peter Ritter von Rittinger, k. k. Ministerialrath in Wien. 2. Auflage. 1865.

§. 65.

Tangentialrad. (Taf. XVI, Fig. 2.)

Dasselbe ist von Gebr. Decker und Komp. in Kannstatt (Württemberg) gebaut, giebt bei $11\frac{1}{2}$ Meter (36,6 Fuß) Gefälle 70 Pferdestärken, was bei $66\frac{2}{3}$ Nutzeffekt eine Wassermenge von 0,7 Kubikmeter oder 22,63 Kubikfuß voraussetzen würde. — Dieses Rad hat wie das vorher beschriebene zwei Einläufe, und theilt sich deshalb das Hauptrohr in zwei Zweige A und B. — Jeder derselben hat zunächst eine Drosselklappe, welche in ähnlicher Weise, wie vorher beschrieben, durch Stange C das konische Räderpaar D und die Schneckenräder E und E^1 bewegt werden. — In jedem Einlauf befindet sich ebenfalls ein Schieber, und wird die Stellung desselben an jeder Seite mittels der Räder H und H^1 bewirkt, welches wieder durch entsprechende Räderverbindung sowie die Wellen G und F von oben bewirkt werden kann.

Die genannte Firma führt über diese von ihr vielfach ausgeführten Räder Folgendes an:

„Sie sind anwendbar für Gefälle von 5 bis 100 Meter (16 bis 300 Fuß) und arbeiten dieselben mit ziemlich gleichbleibendem Nutzeffekt auch bei veränderlichem Wasser; für Gefälle von 10 bis 30 Metern sind sie den Wasserrädern gewöhnlich wegen ihrer geringeren Anlagekosten vorzuziehen; bei Gefällen über 30 Meter verdienen sie, namentlich bei veränderlichem Wasser, den Vorzug vor jedem andern Motor.

„Die Tangentialräder geben einen viel regelmäßigeren Gang als Wasserräder, was bei Spinnereien, Webereien und dergl., wo solcher durchaus erforderlich ist, sehr in die Waagschale fällt. Auch haben dieselben schon an und für sich eine viel größere Umdrehungszahl als Wasserräder, erfordern also zur Uebersetzung in größere Geschwindigkeiten viel weniger Transmissionsräder als diese; dagegen haben sie für große Gefälle den Vorzug der kleineren Geschwindigkeit gegenüber den Turbinen; aus beiden Gründen geht also durch das nöthige Räderwerk weniger Kraft verloren, als bei Wasserrädern oder Turbinen. Die Fundamentirung ist eine viel einfachere und billigere, als bei Wasserrädern, es werden kostspielige Wasserradhäuser erspart, durch welche in der Regel große Wandflächen zugebaut werden, also viel Licht verloren geht; auch wird durch Wasserräder in der Regel die Dauer der anstoßenden Gebäude sehr beeinträchtigt, und ist der Raumbedarf der Tängentialräder verhältnißmäßig ein sehr kleiner.

„Die Tangentialräder sind immer so aufzustellen, daß sie vom Hinterwasser nicht berührt werden, da durch Eintauchen in's Hinterwasser der Effekt vermindert wird. Die Zuführung des Wassers vom Zuflußkanal zum Einlaufrohr geschieht in der Regel durch Blechröhren, nur bei sehr kleinen Dimensionen werden gußeiserne Röhren angewendet. Die normale Zuflußgeschwindigkeit ist gleich 1 Meter anzunehmen, bei kurzen Leitungen kann dieselbe auch etwas größer, bei

sehr langen Leitungen dagegen soll dieselbe eher kleiner angenommen werden, um den hieraus entstehenden Gefällverlust möglichst zu reduciren.

„Die kleineren Tangentialräder werden mit einem Einlauf ausgeführt, welcher 2 oder 3 Wasserausflußöffnungen mit Regulirungsschiebern hat; die größeren Räder (siehe die Figuren) erhalten 2 solche Einläufe.

„Wie dies bei den Wasserrädern und Turbinen der Fall ist, so können auch Tangentialräder mit verschiedenem Nutzeffekt ausgeführt werden, und baut die Fabrik mit 60 bis 75% Nutzeffekt, und wird bemerkt, daß Tangentialräder mit 75% theurer, solche mit 60% verhältnißmäßig billiger zu stehen kommen; die Letzteren werden ausgeführt in Fällen, wo Wasser stets im Ueberfluß vorhanden ist, dagegen die Anlage möglichst billig sein soll; die Ersteren bei möglichst guter Ausnützung der Kraft, wobei weniger auf die Kosten gesehen wird."

§. 66.

Turbinen von Gebrüder Decker und Komp.
(Taf. XVI, Fig. 1 und 3, Taf. XVII und Taf. XVIII.)

Diese Turbinenkonstruktion wird von der genannten Firma für Gefälle bis zu 5 Meter empfohlen.

Die allgemeine Disposition einer solchen Turbine zeigt **Fig. 1** auf **Taf. XVI.** — Nach Angabe der Fabrik „werden dieselben jedoch bei kleinen Wasserkräften in der Regel nur dann angewendet, wenn das Wasser konstant ist, oder wenn auf die Veränderungen im Wasserzufluß wegen deren etwaiger kurzer Dauer oder aus sonstigen Gründen keine Rücksicht genommen werden will. Sodann bei mittleren und großen Wasserkräften, wobei die Unregelmäßigkeiten im Wasserzufluß durch Kombination zweier oder mehrerer doppelter oder dreifacher Turbinen ausgeglichen werden, und wobei man auf möglichst billige Weise eine ziemlich gute Ausnützung der Kraft erzielen will, und endlich wenn bedeutendes Hinterwasser für einen großen Theil des Jahres in Aussicht steht. Außerdem ist zu beachten, daß Turbinen schon an und für sich eine viel größere Umdrehungszahl haben, als Wasserräder, daß dieselben also zur Umsetzung in größere Geschwindigkeit viel weniger Transmissionsräder erfordern, als diese.

„Auch ist mit Turbinen leichter ein regelmäßiger Gang zu erzielen, als mit Wasserrädern, was bei Spinnereien, Webereien und dergleichen, wo solcher durchaus erforderlich ist, sehr in die Waagschale fällt.

„Die Turbinen können, wie dies bei Wasserrädern der Fall ist, mit ganz verschiedenen Nutzeffekten ausgeführt werden, und baut die Fabrik, je nach den gewünschten Preisen, Turbinen mit 60 — 80% Nutzeffekt, wobei übrigens bemerkt wird, daß die Preise dem letzteren entsprechend sehr bedeutend variiren, d. h, daß die Turbinen mit 80% theuer, die Turbinen mit circa 60% Nutzeffekt verhältnißmäßig billig zu stehen kommen. Die Wahl der Größe des gewünschten Nutzeffekts hängt von den jeweiligen Verhältnissen ab; z. B. werden Turbinen

bei kleinem Gefäll und großem Wasser an und für sich schon theuer, so daß hier mit Rücksicht auf die Kosten häufig weniger auf die beste Ausnützung der Wasserkraft gesehen wird; da in solchen Fällen auch meistens überflüssiges Wasser vorhanden ist, so begnügt man sich mit 60 — 70% Nutzeffekt, wogegen bei größerem Gefäll und kleinerem Wasser in der Regel auf möglichste Ausnützung der Wasserkraft gesehen wird und deshalb 70—80% verlangt werden.

„Für veränderliches Wasser werden die Turbinen mit zwei oder drei Kränzen (siehe die Figuren) ausgeführt und dieselben mit Abschlußvorrichtungen zur Regulirung des Wasserverbrauchs versehen. Diese bestehen in ganzen Deckringen für einen Theil des Leitrads oder in einzelnen segmentförmigen Klappendeckeln, welche durch verschiedene Mechanismen in Bewegung gesetzt werden können."

Nachdem das Gerinne der Turbine in angemessener Weise hergestellt, aus Mauerwerk, oder wie im vorliegenden Falle angenommen, aus Holz, wird die Fundamentplatte A darauf befestigt, auf welcher die vier Mantelträger B, so wie die Pfanne für die Tragwelle C stehen. An den Turbinenmantel, welcher aus 2 Theilen D und E besteht, schließt sich das Leitrad F, und darunter geht das Turbinenrad G. — Die Nabe des Rades ist an eine gußeiserne hohle Welle H befestigt, innerhalb welcher sich die Tragewelle C fest befindet. — Die Welle H erhält ihre untere Führung auf dem Leitraddeckel durch eine Büchse oder Hülse h mit 3 Holzlagern, und oberhalb in einem Lager, welches an den Träger I befestigt ist, der wiederum auf zwei durchgehenden Balken befestigt ist. — Die Auflagerung der Welle H auf der Axe C erfolgt durch den Ueberwasserzapfen, welcher **Taf. XVI, Fig. 3** im größeren Maßstabe deutlich gezeichnet ist. — Am obersten Ende trägt die Welle das konische Rad K, welches durch seinen Eingriff mit L die Transmissionswelle M in Bewegung setzt.

Das Turbinenrad wie das Leitrad bestehen aus drei Ringen (Etagen, die nebeneinander liegen), innerhalb deren sich die Schaufeln befinden. — Die Regulirung des Wasserzuflusses erfolgt bei dem innersten Ringe durch Klappen, welche oben durch Stangen z geöffnet oder geschlossen werden können. — Die Schütze der mittelsten Abtheilung ist ein gußeiserner Ring, welcher auf die Oeffnung paßt; er trägt zwei Winkel N, in welchen die runden Enden zweier Zahnstangen O befestigt werden, die durch Räder P auf- und nieder bewegt werden können. — Dies geschieht von oben mittels eines Griffrades Q, dessen Welle unter dem Balkenträger eine Schraube R trägt, die in ein Rad S greift, welches mit den Rädern P auf derselben horizontalen Axe befestigt ist. — Diese Axe ruht in zwei Lagerhülsen U, die an die Balken geschraubt sind, welche zugleich mit Armen versehen sind, die je einen Drehpunkt für die Rollen T abgeben (**Taf. XVIII, Fig. 4**), an welchen die Zahnstangen O bei ihrer Bewegung auf- und abgeführt werden.

Die äußere Etage oder ringförmige Atheilung erhält entweder ebenfalls Klappen, wie die innerste, und diese werden dann in gleicher Weise durch Zugstangen Z bewegt, wie dies in **Fig. 3** auf **Taf. XVIII** angenommen, oder man läßt diese Abtheilung ohne Schütze, da der vollständige Abschluß der Turbine beim Stillstand durch die Haupt-

schütze V erfolgt, welche im Obergraben angebracht ist, und in gewöhnlicher Weise durch Kurbel bewegt wird.

Damit der vorbeschriebene Ring der zweiten Abtheilung beim Auf- und Abbewegen nicht schwankt, wird er durch aufgesetzte Winkel n an zwei Stangen o geführt. **Taf. XVIIII, Fig. 1 und 2.**

Die auf **Taf. XVII** abgebildete Turbine hat ein Gefälle von 10 Fuß bei einer Gesammtwassermenge von 63 Kubikfuß, wenn die Turbine ganz beaufschlagt ist. — Dabei ist der äußere Ring allein für 20 Kubikfuß, der mittlere für 21 und der innere füe 22 Kubikfuß angenommen werden. — Das Leitrad hat im äußern Ringe 16 Schaufeln, im mittlern 14, im innern 12, und es entsprechen diesen im Turbinenrade der Reihe nach die Schaufelzahlen 20, 18 und 16. —

Bei voller Beaufschlagung wird die Leistung der Turbine zu 54 Pferdestärken angegeben, und die Zahl der Umdrehungen ist zu 54 pro Minute angenommen worden. —

§. 67.

Turbinen von Girard. (Taf. XIX und XX.)

Fig. 6 bis **9, Taf. XIX** stellen eine Radturbine vor für die Benutzung großer Gefälle, ausgeführt in der Stadt Genua. — Die Maschine ist auf eine solide Weise an einer Grundplatte befestigt, was den Vortheil hat, daß man sie ganz zusammengesetzt transportiren kann; bei ihrer Aufstellung ist nichts anderes erforderlich, als sie auf einem zu diesem Zwecke bearbeiteten Stein zu befestigen. —

Das Rad hat einen Durchmesser von 0,33 Meter (1 Fuß) und macht bei einem Gefälle von 150 Meter (478 Fuß) 850—900 Umdrehungen pro Minute, wozu ein Aufschlagquantum von 9 Liter pro Sekunde (0,29 Kubikfuß) erforderlich ist; die Leistung beträgt 4 Pferdestärken.

Fig. 2, Taf. XIX stellt eine Turbine mit senkrechter Axe und einer geschlossenen gußeisernen Radstube dar, welche einen Kanal bildet, der das Wasser in den Radkranz führt, ohne daß durch die Erweiterungen im Querschnitt der geringste Verlust an lebendiger Kraft stattfindet; im Gegentheil vermindert sich der Querschnitt bis zu dem Punkte, wo das Wasser in den Schaufelkranz eintritt. — Bei dieser Anordnung kann man sehr große Wassermengen bei Hochdruckturbinen in einem sehr kleinen Raume verwenden, und sie haben auch den Vortheil, daß man mittels Heber Wasser entnehmen kann, was manchmal von Wichtigkeit ist, wenn Gründungsarbeiten mit Schwierigkeiten verbunden sind, wie es häufig vorkommt, wenn man große Wassermengen bei geringem Gefälle benutzen will. Die Turbine hat einen Durchmesser von 2 Meter; sie macht 85 Umdrehungen pro Minute, das Gefälle ist 5,2 Meter, das Wasserquantum 2400 Liter und die Leistung 110 Pferdekräfte. Sie findet sich aufgestellt bei **Donkin** und **Komp.** in London.

Fig. 3 und **4, Taf. XIX** zeigt eine Konstruktion, welche von Girard viel gebaut worden ist; die Turbine hat ebenfalls eine ge-

schlossene Wasserstube, kann aber nur geringere Wassermengen verwenden und ist für solche Fälle dafür konstruirt, denn sie empfängt das Wasser nur an der Hälfte ihrer Peripherie in zwei entgegengesetzten Vierteln, welche durch Schmetterlingsschützen geschlossen werden, die mit einander nicht verbunden sind, damit man sie gleichzeitig oder einzeln öffnen kann, wie man aus Figur ersieht, wo 7½ Oeffnungen auf einer Seite geöffnet sind, während die andere geschlossen ist. — Diese Turbine ist also eine Partialturbine; man kann bei dieser Anordnung der beiden Schützen die geringste disponible Wassermenge auf eine Seite leiten, um alle Strahlen mit einander zu verbinden, was immer eine bessere Wirkung macht, denn es besteht in der letzten Oeffnung, welche gewissermaßen auf den Boden der Schaufel stößt, anstatt dort frei abzuweichen, ein merklicher Verlust, welcher durch einen doppelten Verlust dargestellt worden wäre, wenn man 3¾ Oeffnungen an jeder Seite frei machte. — Girard bemerkt, daß der Verschluß dieser bogenförmigen Schieber vollkommen hermetisch ist, und empfiehlt diese Anordnung für veränderliche Wassermengen bei großen Gefällen.

Der Durchmesser des Radkranzes ist 1,5 Meter. Die Anzahl der Umdrehungen 75 pro Minute; bei einem Gefälle von 6,7 Meter und einem Aufschlagquantum von 10000 Liter arbeitet diese Partialturbine mit 67 Pferdestärken.

Fig. 1, Taf. XIX stellt ebenfalls eine Partialturbine dar, bei welcher der Eintritt des Wassers Aehnlichkeit mit dem der einfachen Radturbine hat, obschon die hier besprochene Turbine eine senkrechte Axe hat.

Ihre Schutzvorrichtung besteht in einem einfachen Bogenschieber, der mittels eines Stirnrädchens und Stange von oben gezogen werden kann; er macht auch die Eintrittsöffnungen nacheinander frei.

Der Durchmesser der Turbine ist 1,3 Meter, die Anzahl der Umdrehungen 226 pro Minute, das Gefälle 50 Meter, das Aufschlagquantum 270 Liter, die Leistung 135 Pferdestärken.

Die hier beschriebenen Turbinen sind an den Austrittselementen der Schaufeln sämmtlich erweitert, und wie die Details **Fig. 14ᵃ, Taf. XIX** zeigen, als Druckturbinen konstruirt, jedoch gehen sie sämmtlich über dem Unterwasser und sind deshalb nicht hydropneumatisirte.

Eine hydropneumatische Turbine nach Girard's Konstruktion zeigt **Fig. 1, Taf. XX** und **Fig. 5, Taf. XIX.**

Nach Girard besteht der Zweck der Hydropneumatisation darin, drei Verluste an Nutzeffekt zu vermeiden, die durch das Eintauchen einer Turbine in das Unterwasser entstehen. — Die beiden ersten Verluste, welche die minder wichtigen sind, werden die einzigen sein, wenn die Turbine am ganzen Umfange beaufschlagt ist; es handelt sich hier einestheils um die Reibung der Turbine im Wasser, worin sie sich dreht, anderntheils um Störungen des Wasserstrahles, die durch den verursachten Rückstau hervorgebracht werden. Wenn sich die Turbine über dem Unterwasser dreht, so sind die freien Räume am konvexen Theil der Schaufeln (**Fig. 14, Taf. XIX**), von denen sich der Wasserstrahl absondert, mit Luft von atmosphärischem Druck erfüllt; wenn die Turbine hydropneumatisirt ist, bestimmt sich die Spannung der

Luft durch den Stand des Hinterwassers, da die Luft so weit komprimirt sein mußte, um dieser Wassersäule das Gleichgewicht zu halten.

Der dritte Verlust, welchem die Hydropneumatisation vorbeugen soll, ist der bedeutendste und entsteht ohne dieselbe bei theilweiser Beaufschlagung. — Wenn das Rad im Unterwasser geht, so füllen sich die Schaufelkanäle, während sie unter den geschlossenen Leitzellen vorbeigehen, mit relativ stagnirendem Unterwasser, auf welches unter den geöffneten Leitzellen die zufließenden Wasserstrahlen aufstoßen, wodurch ein Arbeitsverlust entsteht, der dadurch noch größer wird, daß die Wasserstrahlen einen Theil der relativen Geschwindigkeit verloren haben, und anstatt mit einer möglichst kleinen absoluten Geschwindigkeit bei freiem Abfluß auszutreten, werden sie mit der Rotationsbewegung der Turbinen fortgerissen.

Man sieht in **Fig. 1, Taf. XX** eine hydropneumatische Turbine von 97 Pferdestärken bei einem Gefälle von 4,93 Meter und 4728 Liter Wassermenge pro Sekunde. — Der mittlere Durchmesser ist 3,6 Meter bei 18 Umdrehungen pro Minute. Die Uebertragung erfolgt durch konische Räder, das kleinere derselben ist auf der liegenden Welle, und ist auf letzterer auch eine Riemscheibe befestigt, von welcher aus die Riemscheibe r betrieben wird, welche wieder mittels Kurbelwelle zum Betriebe einer Luftkompressionspumpe l dient, von welcher aus eine Röhre a b c zur Turbine führt, um den Unterwasserspiegel innerhalb der Turbinenkammer unter dem Turbinenrade halten können, wenn er auch außen höher steht.

Die Regulirung dieses Wasserspiegels erfolgt durch die Röhre g h, deren unteres Ende das Niveau dieses künstlich hergestellten Wasserspiegels bestimmt. — s ist noch eine Schütze, welche, wie gezeichnet, eingelassen wird, sobald man die Turbine hydropneumatisiren will; dagegen zieht man die Schütze in die Höhe, wenn der natürliche Unterwasserspiegel tief genug ist, daß die Turbine von selbst frei geht, denn alsdann ist ein Hydropneumatisiren überflüssig.

Eine etwas andere Anwendung zeigt **Fig. 5, Taf. XIX**, wo sonst gleiche Buchstaben dieselben Theile bedeuten. — Diese Turbine ist eine Partialturbine, mit einer Schmetterlingsschütze, wie **Fig. 3, Taf. XX**, bei welcher beide Theile der Schütze gleichzeitig nur durch eine Kurbel, Stange, Rad und Zahnkranz gestellt werden, während die Schütze in **Fig. 4, Taf. XIX** doppelt ist, indem jede Hälfte unabhängig von der andern gestellt werden kann.

Eine andere Schützenvorrichtung von Girard, wie dieselbe an der Turbine **Fig. 1, Taf. XX** ausgeführt ist, findet sich detaillirt gezeichnet in den **Fig. 10 und 11, Taf. XIX**, und **Fig. 2, Taf. XX**. — Auf dem Leitrade befinden sich eine Anzahl segmentförmiger Schieber A, welche radial zum Rade gezogen werden können, so daß sie je nach ihrer Stellung einzelne Segmente des Leitrades schließen oder öffnen; und es wird dies auf folgende Weise bewirkt. Auf der obern Stopfbüchse der Turbinenwelle bewegt sich ein zweiflügeliger Daumen B mit konischem Zahnsektor C, die Bewegung erfolgt mittels des konischen Rades D durch die Welle E, welche ein Griffrad oder Kurbel heben kann. — Der Daumen greift bei seiner Umdrehung in die Vförmig gestalteten Hebel F, und dreht diese also um einen bestimmten

Bogen, und da diese Hebel auf hohlen schmiedeeisernen Wellen G sitzen, welche am unteren Ende über dem Leitrade andere Hebel H tragen, die mittels kleiner Scharniere mit den Schiebern A verbunden sind, so können in Folge der Umdrehung des Daumens eine Anzahl dieser Schieber oder alle entweder geöffnet oder geschlossen werden.

Die **Fig. 6 bis 11, Taf. XX** zeigen noch eine Turbine, welche Girard für die Papierfabrik zu Manreix (Limoges) ausgeführt hat. — Das Gefälle beträgt 1,3 Meter und die Wassermenge 4,2 Kubikmeter pro Sekunde, die effektive Leistung wird bei 25 Umdrehungen pro Minute zu 50 Pferdestärken angegeben, was einem Nutzeffekt von 70% entsprechen würde. —

Der mittlere Durchmesser ist 2,6 Meter, das Turbinenrad hat 32 Schaufeln, das Leitrad 16 gußeiserne und 64 schmiedeeiserne, zusammen also 80 Schaufeln. Das Zuführungsrohr ist heberförmig gebogen, was durch lokale Verhältnisse für die Aufstellung der Turbine bedingt wurde. — Die Turbine ist nicht hydropneumatisirt, sondern geht frei über dem Unterwasser. Man sieht aus **Fig. 11, Taf. XX**, daß die Schaufeln bei dieser Turbine ohne Rückschaufeln gezeichnet sind. — Die Größe der Schaufelwinkel wird bei der Berechnung angeführt werden. — Die 16 starken gußeisernen Leitschaufeln sind angelegt, weil das Leitrad mit 16 segmentförmigen Schiebern bedeckt, die sich wie bei der vorher beschriebenen Schützenvorrichtung radial schieben. — Die Art der Bewegung ist eine abweichende. — Die vertikale Welle a ist von oben zu drehen, dadurch wird das konische Räderpaar b, c gedreht und auch die entsprechenden b_1 und c_1, sowie b_{11} und c_{11}. — Die Wellen der Räder b b_1 b_{11} werden in Stopfbüchsen geführt und haben am untersten Ende kleine Stirnräder d, die in den Zahnkranz d¹ eingreifen, welcher mit der Platte e zu einem Stücke verbunden ist. — Die letztere hat den 16 Schiebern entsprechend an der untern Fläche angemessene Rinnen oder Nuthen n und jeder Schieber A hat einen Zapfen, welcher in der Nuthe geführt wird. Wird also die Platte e in der angemessenen Weise um einen bestimmten Bogen gedreht, so erfolgt je nach der Bewegungsrichtung ein Oeffnen oder Schließen der Schieber. Die kreisringförmige Platte e wird durch mehrere Rollen g unterstützt, damit die Reibung möglichst vermindert wird.

§. 68.

Turbinen von Hänel. (Taf. XXIV bis XXVI.)

Zum Betriebe der dem Herrn Ferd. Flinsch in Leipzig gehörigen Papierfabrik in Penig wurden von der Gräfl. Stolberg'schen Maschinenfabrik zu Magdeburg drei Turbinen geliefert, deren Anlage aus den Zeichnungen zu ersehen ist, und mit deren Leistung der Besitzer vollständig zufrieden gestellt ist.

Das zum Betriebe der Turbine nöthige Wasser liefert der Muldefluß, welcher unter normalen Verhältnissen pro Sekunde 10 Kubikmeter (323 Kubikfuß) Wasser hat. — Das normale Arbeitsgefälle für

die Turbinen beträgt 3,75 Meter, so daß die absolute Wasserkraft 500 Pferdestärken ist.

Diese Wasserkraft ist auf die drei Turbinen der Art vertheilt, daß die der Stromrichtung

zunächst gelegene Turbine I mit 1,666 Kubikmeter
die nächste „ II mit 3,333 „
und „ III mit 5 „

beaufschlagt werden kann, so daß bei voller Beaufschlagung der Turbinen sich deren Leistung wie 1 : 2 : 3 verhält. —

Die Konstruktion der drei Turbinen, entworfen vom Maschinendirektor E. Hänel, ist fast identisch mit der in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1861 beschriebenen Konstruktion der Rothenburger Turbinen, welche ebenfalls von der genannten Fabrik geliefert wurden. — Auch bei diesen Turbinen für die Fabrik zu Penig sind die Turbinenradschaufeln mit „Rückschaufeln“ mit bestem Erfolge zur Anwendung gekommen *):

Es ist

der mittlere Durchmesser der Turbine I = 1,569 Meter,
„ „ „ „ „ II = 1,962 „
„ „ „ „ „ III = 2,354 „

Die Umdrehungszahlen bei normalem Gefälle sind

für Turbinen I 50 Umdrehungen pro Minute,
II 40 „ „ „
III 33 „ „ „

Es beträgt die Zahl der

	Leitradschaufeln.	Turbinenradschaufeln.
bei Turbine I	24	30
„ II	30	36
„ III	32	40

Die Uebertragung der Kraft erfolgt von jeder Turbine mittelst Stirnräder auf eine stehende Welle, von welcher aus mittelst konischer Räder auf drei liegende Haupttransmissionswellen die Kraft in das Innere des Fabrikgebäudes übertragen wird. —

Jede stehende Welle macht 100 Umdrehungen, jede der liegenden Hauptwellen 120 Umdrehungen pro Minute. —

Außerdem können alle 3 Turbinen mittelst einer außerhalb des Fabrikgebäudes sich befindlichen liegenden Welle der Art unter einander verkuppelt werden, daß bei etwaiger Reparatur einer Turbine oder bei abnorm kleinem Wasserzufluß, jede Turbine für sich allein oder beliebig deren zwei auf irgend eine der drei liegenden Hauptwellen arbeiten kann, so daß unter allen Verhältnissen der Fabrikbetrieb möglichst wenig Störungen ausgesetzt ist. —

---

*) Rückschaufeln finden sich gezeichnet auf **Tafel** XXIII, eine Schützenvorrichtung ähnlich der hier zur Anwendung gekommenen, ist **Tafel** XIII, **Fig. 10 u. 11**, gezeichnet. — Der hydraulische Wirkungsgrad hat sich bei den Rothenburger Turbinen im Mittel zu 75% ergeben, der Nutzeffekt zu 66 bis 70%. —

Die Turbinen arbeiten bei den bis jetzt aufgestellten Arbeitsmaschinen, wenn normales Gefälle vorhanden ist, noch nicht mit voller Beaufschlagung, sondern nur mit circa $\frac{1}{2}$, resp. $\frac{3}{4}$. —

Die Konstruktion der Gerinnebauten und der Turbinen-Fundamente ist aus den Zeichnungen deutlich ersichtlich. —

§. 69.

Benutzung von Fluth und Ebbe zum Betriebe von Turbinen *).

Wenn man durch irgend einen festen und hinreichend hohen Damm einen Theil des Gestades umschließt, das bei der Ebbe des Meeres vom Wasser wieder verlassen wird, und wenn man am Fuße dieses Dammes eine Oeffnung anbringt, die an dieser Stelle die Verbindung zwischen dem Meere und dem umschlossenen Terrain während der Fluth herstellt, so wird das Wasser durch die Oeffnung dringen, oder es wird sich von außen nach innen eine Strömung bilden, deren Geschwindigkeit durch den Niveauunterschied des Wasserstandes im Meere und des in dem Raume eingeschlossenen Wassers bestimmt wird. — Beim Eintritt der Ebbe dagegen wird diese Strömung von innen nach außen stattfinden, und ihre Geschwindigkeit wird ebenfalls durch den Unterschied beider Niveaus bestimmt werden. — Bei diesem Vorgange treten natürlich auch Momente ein, in denen die Wasserstände auf beiden Seiten des Dammes im Niveau liegen, so daß keine Strömung stattfindet, doch sind diese Momente nur von geringer Dauer und eine Verschiedenheit der Wasserspiegel wird immer bald wieder eintreten.

Legt man also eine Turbine in die oben gedachte Oeffnung des Dammes, so wird sich dieselbe drehen mit einer Geschwindigkeit, die der Niveaudifferenz entspricht, und zwar stets nach derselben Richtung, da diese nur von der Stellung der Schaufeln abhängt, nicht von der Richtung, in der das Wasser kommt. —

Fig. 7 auf **Taf. XIII** ist ein Kasten von solcher Größe, daß darin eine Turbine F Platz findet, die Oeffnungen A und D setzen den Kasten mit dem Meere in Verbindung, die Oeffnungen C und B mit dem Reservoir. Wenn die Fluth ist, so wird sich die Klappe D schließen, das Wasser tritt durch A hinein, durch die Turbine F hindurch und entweicht durch B in das Reservoir. — Dies dauert so lange, bis das Niveau auf beiden Seiten gleich ist, und mit der beginnenden Ebbe findet der entgegengesetzte Gang des Wassers statt; es schließen sich A und B und das Wasser geht durch C, F, D aus dem Reservoir zurück. —

Dabei ist es gleichgültig, ob die Oeffnungen auf den parallelen Seiten oder auf zwei anstoßenden angebracht sind; auch kann man die Oeffnungen auf jede andere Weise als durch Klappen schließen. —

*) Zeitschr. des österr. Ingenieur-Vereins 1861. S. 148 und Polyt. Centralblatt 1861. S. 1170. —

Es ist auch ganz gleich, ob der Kasten unmittelbar mit dem Meere und dem Reservoir in Verbindung ist, oder ob dieselbe durch Kanäle, Röhren 2c. hergestellt wird. —

Der große Uebelstand der Beweglichkeit der Wellen, und die dadurch hervorgerufenen plötzlichen Veränderungen der Höhe, würden Störungen herbeiführen; und es läßt sich durch nachstehende Einrichtung dies vermeiden. Vor jeder Turbine, die sich an einem und demselben Damm befindet, legt man an der Seeseite einen andern Damm C an (**Fig. 8, Taf. XIII**), öffnet man nun bei der Fluth die Klappe auf der Seeseite, so wird das Wasser die Klappe der inneren Seite von selbst öffnen und in das Vorgerinne D treten, wenn aber der Woge ein Sinken des Meeres folgt, und vorübergehend der Wasserspiegel in D höher stünde, als außen, so wird sich die Innenklappe von selbst so lange schließen, bis eine neue Welle von hinreichender Höhe kommt. — Das Schwanken der Meereswellen wird daher in D unmerklich sein, und der Gang der Turbine nicht gestört sein. —

Immer noch aber arbeitet die Turbine unter einer Wasserkraft, welche beständig veränderlich ist, wenn das Aufschlagwasser nach seiner Einwirkung auf die Turbine nach dem Reservoir oder dem Meere frei abfließen kann. — Um eine Gleichmäßigkeit des Gefälles, ungeachtet der wechselnden Niveaudifferenzen, herbeizuführen, kann man nachstehende Anordnung, **Fig. 9, Taf. XIII**, treffen. —

Das Wasser gelangt ins Becken D auf die vorher beschriebene Weise, und ist dessen Zweck wie vorher nur der, die Wellenbewegung unschädlich zu machen. E ist ein zweites Becken, das mit D durch eine Oeffnung in Verbindung steht, welche eine bewegliche Schütze hat. T ist wie vorher die Turbinenkammer. — Die Größe der Oeffnung zwischen den beiden Behältern D und E verändert sich derart, daß der Wasserspiegel in E auf einer beständigen Höhe über oder unter dem Wasserspiegel des Reservoirs erhalten wird, je nachdem die Bewegung des Aufschlagwassers von dem Meere zum Reservoir oder umgekehrt stattfindet. — In diesem Niveauunterschied besteht die Höhe des Gefälles, welches ungeachtet der im Meere, im Becken D und dem Reservoir fortwährend vorkommenden Niveauveränderungen stets unveränderlich bleibt.

Die Bewegung der Regulirungsschütze wird durch einen Kolben p bewirkt, der sich im Damme in einem horizontalen Cylinder bewegt, und der also auf einer Seite den Druck des Reservoirs, auf der andern den Druck des Beckens E zu ertragen hat. — Nehmen wir nun an, es solle ein beständiger Niveauunterschied von 1 Meter stattfinden, so folgt daraus: 1) daß der Kolben p, wenn das Aufschlagwasser vom Meere zum Reservoir strömt, an der linken Seite durch eine Wassersäule geschoben wird, welche die Kolbenfläche als Grundfläche hat und 1 Meter Höhe besitzt. 2) der Kolben p wird eben so stark an der rechten Seite gedrückt, wenn die Strömung in entgegengesetzter Richtung stattfindet. Die Schütze hat nun eine Oeffnung, welche sich gerade vor der Oeffnung im Damme befindet, wenn der Kolben p auf der Mitte seines Laufes ist. — Geht nun der Kolben nach einer oder der andern Richtung vorwärts, so wird die Schütze die Oeffnung

des Dammes zum Theil oder ganz decken, so daß die Verbindung zwischen D und E unterbrochen wird, wenn der Kolben am äußersten Ende seines Laufes angekommen ist. —

Gegengewichte, sowie Auflagerung der Schütze auf Rollen erleichtern diese Bewegung des Kolbens, resp. der Schütze. —

Es möge die kurze Bemerkung hier Platz finden, daß man auch unterschlägige Wasserräder angelegt hat zum Betriebe durch Fluth und Ebbe. — **Fig. 2, Taf. XXII,** zeigt ein solches, wie es Prof. Rühlmann beschreibt. a a' sind die Schleußenthore für den Durchgang der Fluth; sind diese, wie gezeichnet, offen, so sind b b' geschlossen, es fließt also jetzt das ankommende Fluthwasser durch a und in der Richtung des Pfeiles zum Wasserrade, endlich durch a' fort; bei der Ebbe, d. h. bei der rückgängigen Bewegung des Meeres, müssen a und a' geschlossen, dagegen b b' geöffnet werden, es tritt dann das Wasser durch b' ein, ebenfalls in der Richtung des Pfeiles zum Wasserrade und durch b geht es fort. — Das Wasserrad dreht sich also stets in derselben Richtung.

Zweite Abtheilung.

Berechnung der hydraulischen Motoren.

Fünftes Kapitel.

Hauptgesetze der Hydraulik in ihrer Beziehung zu den Motoren.

---

§. 70.

Wasserausfluß mit Oeffnungen bei konstanter Druckhöhe.

1. Theoretischer Ausfluß.

Ist h die Druckhöhe, d. i. die Tiefe der Mitte der Ausflußmündung unter dem Wasserspiegel, und F der Inhalt der Ausflußmündung, so hat man theoretisch

die Ausflußgeschwindigkeit $v = \sqrt{2gh}$

das Ausflußquantum $Q = Fv$.

Nach den verschiedenen Landesmaßen ist

$v = 4{,}429 \sqrt{h}$ in Metern, $v = 7{,}878 \sqrt{h}$ in österr. Fuß,

$= 8{,}013 \sqrt{h}$ in engl. Fuß, $= 8{,}105 \sqrt{h}$ in schweiz. oder

$= 7{,}906 \sqrt{h}$ in preuß. Fuß, bad. Fuß.

2. Kontraktion.

a. Vollständige Kontraktion. — Ist die Ausflußöffnung sehr glatt und genau abgerundet, so fließt das Wasser mit einer Geschwindigkeit aus

$$v_1 = \varphi \sqrt{2gh} \text{ oder } v_1 = v\varphi$$

und es ist der Geschwindigkeitskoefficient

$$\varphi = 0{,}96 - 0{,}99, \text{ im Mittel } = 0{,}97.$$

Hingegen durch eine Mündung in der dünnen ebenen Wand (scharfe Kante) fließt das Wasser in konvergenten, einen kontrahirten Strahl bildenden Fäden aus, und es ist der Querschnitt F_1 des Strahles in einiger Entfernung von der Mündung ohngefähr nur 0,64 F.

— Man nennt das Verhältniß $\frac{F_1}{F} = \alpha = 0{,}64$ den Kontraktionskoefficienten. —

Der Ausflußkoefficient μ, nämlich das Verhältniß der effektiven Ausflußmenge Q_1 zur theoretischen Q, ist also $\mu = \varphi\,\alpha$ und im Mittel etwa $= 0{,}62$.

Endlich ist noch der Widerstandskoefficient ψ, nämlich das Verhältniß der verlorenen Geschwindigkeitshöhe $\left(\frac{v^2}{2\,g} - \frac{v_1{}^2}{2\,g}\right)$ zur effektiven Geschwindigkeitshöhe $\frac{v_1{}^2}{2\,g}$ in Betracht zu ziehen. — Es ist

$$\psi = \frac{\frac{v^2}{2g} - \frac{v_1{}^2}{2g}}{\frac{v_1{}^2}{2g}}$$

$$= \frac{v^2 - v_1{}^2}{v_1{}^2} = \frac{v^2}{v_1{}^2} - 1.$$

Da nun $v_1 = v\,\varphi$,
so ist

$$\psi = \frac{v^2}{(v\,\varphi)^2} - 1$$

$$= \frac{1}{\varphi^2} - 1$$

oder umgekehrt $\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \psi}}$.

Den vorher angegebenen Mittelzahlen entsprechend, ist ψ etwa $= 0{,}063$. —

Tabelle der Ausflußkoefficienten μ für rechtwinkelige Oeffnungen in der dünnen Wand (also bei vollständiger Kontraktion) nach Poncelet und Lebros:

Wasserstand über der obern Kante der Mündung.		Oeffnungshöhen.					
		20 Centim. 8 Zoll. u. mehr.	10 Centim. 4 Zoll.	5 Centim. 2 Zoll.	4 Centim. 1½ Zoll.	3 Centim. 1 Zoll.	2 Centim. ½ Zoll.
Centimeter.	Zoll.						
	½	0,567	0,592	0,605	0,620	0,643	0,690
2	¾	0,570	0,595	0,612	0,625	0,644	0,684
	1	0,573	0,598	0,616	0,627	0,646	0,679
4	1¼	0,580	0,602	0,620	0,632	0,647	0,673
5	2	0,583	0,605	0,624	0,633	0,647	0,671
8	3	0,587	0,608	0,628	0,634	0,645	0,664
10	4	0,590	0,610	0,629	0,633	0,643	0,661
13	5	0,592	0,612	0,629	0,633	0,643	0,659
15	6	0,594	0,613	0,630	0,632	0,640	0,655
21	8	0,596	0,614	0,630	0,631	0,639	0,653
26	10	0,597	0,615	0,630	0,631	0,638	0,651
31	1 Fuß	0,598	0,615	0,629	0,631	0,637	0,648
39	1¼	0,600	0,616	0,628	0,630	0,635	0,645
47	1½	0,601	0,616	0,628	0,629	0,635	0,641
54	1¾	0,602	0,616	0,628	0,629	0,634	0,641
63	2	0,603	0,617	0,627	0,628	0,633	0,640
78	2½	0,604	0,616	0,627	0,628	0,632	0,637
94	3	0,604	0,615	0,626	0,627	0,631	0,634
1,26 Meter	4	0,603	0,614	0,623	0,625	0,626	0,625
1,88	6	0,601	0,608	0,614	0,614	0,613	0,611
3,14	10	0,601	0,603	0,605	0,606	0,607	0,609

b. Koefficienten bei unvollständiger Kontraktion. Wenn die Ausflußöffnung so gelegen ist, daß eine, zwei oder drei Seiten der Oeffnung eine geradlinige Fortsetzung der Reservoirflächen bilden, so ist die Kontraktion unvollständig, und die Ausflußmenge wird größer. — In diesem Falle ist der Ausflußkoefficient, wie er vorher angegeben wurde, zu multipliciren mit $1 + 0{,}153\,\frac{n}{p}$,

wo p den ganzen Umfang der Oeffnung, und
n denjenigen Theil des Umfanges bedeutet, welcher keine Kontraktion bewirkt. —

c. Koefficienten für Schützöffnungen, die nach einem Gerinne führen. 1) Wenn die Schütze schief steht und weder am Boden, noch an den Seiten Kontraktion stattfindet, so ist, wenn der Neigungswinkel der Schütze gegen den Horizont

	75°	60°	45°	30°
$\mu =$	0,651	0,725	0,810	0,884

2) Wenn die Schütze vertikal steht, so hat das Vorhandensein eines Gerinnes keinen bemerkbaren Einfluß auf den Koefficienten, wenn der Wasserstand über dem obern Rande der Oeffnung mindestens gleich der 3fachen Höhe der Schutzöffnung ist. — Für kleinere Druckhöhen hat das Gerinne einigen Einfluß.

Wasserstand über Mitte der Oeffnung.	Höhe der Oeffnung.			
	20 Centim.	10 Centim.	5 Centim.	3 Centim.
	Der Ausflußkoefficient μ.			
Centimeter.				
40	0,588	—	—	—
24	0,563	—	—	—
20	—	—	0,625	0,638
16	—	0,591	—	—
12	0,484	—	—	—
11	—	0,563	0,605	—
9	—	0,517	—	—
6	—	0,462	—	0,601
5	—	—	0,488	—
4	—	—	0,439	—

d. Koefficienten für den Ausfluß durch kurze Ansatzröhren. Bei kurzen cylindrischen Röhren, die rechtwinkelig am Gefäß sind, innerhalb desselben nicht vorstehen, und deren Länge gleich dem 2- bis 3fachen Durchmesser ist, α (vergl. 2.) $= 1$, daher $\mu = \varphi$ zu setzen und zwar im Mittel $= 0{,}815$; der Widerstandskoefficient $\psi = 0{,}505$.

Bei konisch divergenten Röhren wird μ kleiner als bei cylindrischen, und bei konisch-konvergenten größer. — Bei 13° Konvergenz ist μ am größten und zwar 0,95; sehr kurze, innen abgerundete oder nach der Gestalt des kontrahirten Wasserstrahles geformte Mundstücke, geben sogar $\mu = 0{,}97$ bis 0,99. —

3. Messung kleiner Wassermengen.

Bei ganz kleinen Quellen fange man das Wasser in einem Gefäße von bekanntem Inhalt auf. — Bei etwas mehr Wasser oder kleinen Bächen schließt man die ganze Breite durch eine Wand, welche in horizontaler Linie eine Reihe gleichgroßer Löcher hat. — Man schließt alsdann nach und nach so viel Löcher als nöthig ist, damit die Druckhöhe konstant bleibt, also Zufluß gleich Abfluß. Fängt man das Wasser einer Oeffnung in einem Gefäße von bekanntem Inhalt auf, und multiplicirt mit der Anzahl Oeffnungen, so ergiebt sich die ganze Wassermenge. —

Die sogenannten Wasserzolle (preuß. Maß) sind Mündungen von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen Wand (Blechwand), bei denen der Wasserspiegel am besten 1 Zoll über dem Mittelpunkte der 1 Zoll weiten Kreismündung steht. —

Ein solcher Wasserzoll liefert:

Durchmesser.	Ausflußmenge in preuß. Kubikfußen. pro Minute.	pro Stunde.
1 Zoll.	0,4464	26,785
½ Zoll.	0,1223	7,336

Die kleinere Mündung giebt also verhältnißmäßig mehr als die von 1 Zoll Durchmesser bei derselben Druckhöhe von 1 Zoll über dem Mittelpunkte der Oeffnung. —

4. Bewegung des Wassers in Röhrenleitungen.

Wenn sich Wasser durch eine Röhre bewegt, veranlaßt die Reibung an den Wänden der Röhre einen Widerstand. Derselbe ist direkt proportional der Länge und umgekehrt proportional dem Durchmesser der Röhre; ferner wächst dieser Widerstand nahezu mit dem Quadrate der Geschwindigkeit des Wassers. —

Dieser Röhrenwiderstand wird durch das Gefälle oder die Druckhöhe überwunden. — Ist h das Gefälle vom Wasserspiegel bis Mitte der Ausflußmündung, oder wenn Ausfluß unter Wasser stattfindet, von Wasserspiegel zu Wasserspiegel gemessen, ferner l die Länge und d die Weite der Röhrenleitung, ψ der Widerstands- oder Reibungskoefficient der Röhre und ψ_0 der für das Einmündungsstück, so ist nach Weisbach

$$h = \frac{v^2}{2g} (1 + \psi \frac{l}{d} + \psi_0)$$

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} v = F v.$$

Der Reibungskoefficient ψ ist

v = 0,5	1	2	3	5	12	20 Fuß.
ψ = 0,038	0,031	0,026	0,024	0,022	0,019	0,018.

Der Koefficient ψ_0 ist wie für kurze Röhren = 0,505, läßt sich aber durch Abrundung oder Eintrichtern auf 0,1 herabziehen, und bei langen Röhren ganz vernachlässigen. —

Die nachstehende Tabelle giebt in Fußen das Gefälle oder die nöthige Druckhöhe der Röhrenleitung auf 1000 Fuß Länge derselben. —

$$h = \frac{v^2}{2g} \left(1 + \psi \frac{l}{d}\right).$$

Geschwindigkeit des Wassers in Fußen pro Sekunde v.	Innere Röhrenweite in Zollen.						
	1	2	4	6	8	10	12
0,25	0,58	0,29	0,14	0,10	0,07	0,06	0,05
0,5	1,84	0,92	0,46	0,31	0,23	0,18	0,15
0,75	0,37	0,18	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03
1	6,01	3,01	1,50	1,00	0,75	0,60	0,50
1,25	8,86	4,43	2,21	1,48	1,11	0,89	0,74
1,5	10,15	5,08	2,54	1,69	1,27	1,02	0,85
1,75	15,98	7,99	4,00	2,66	2,00	1,60	1,33
2	20,24	10,12	5,06	3,37	2,53	2,02	1,69
2,5	30,11	15,06	7,53	5,02	3,76	3,01	2,51
3	41,75	20,87	10,44	6,96	5,22	4,17	3,48
4	70,20	35,10	17,55	11,70	8,77	7,02	5,85
5	105,4	52,7	26,3	17,6	13,2	10,5	8,8
6	147,2	73,6	36,8	24,5	18,4	14,7	12,3
8	250,3	125,2	62,6	41,7	31,3	25,0	20,9
10	379,0	189,5	94,8	63,2	47,4	37,9	31,6

Zu den angegebenen Druckhöhen hat man noch diejenige zu addiren, welche nöthig ist, um das Wasser mit einer der Ausflußgeschwindigkeit gleichen Geschwindigkeit v in die Röhre einzuführen; also von der Formel den Theil

$$\frac{v^2}{2\,g}\,(1 + \psi_0).$$

Dies ist nach den Werthen, die für ψ_0 angegeben wurden,

$$1{,}505\;\frac{v^2}{2\,g}\ \text{bis}\ 1{,}1\;\frac{v^2}{2\,g}.$$

Die Widerstände, welche das Wasser beim Durchgange durch Krümmungen, Verengungen durch Schieberventile, Hähne u. s. w. zu überwinden hat, sind schwierig festzustellen und sehr verschieden nach dem Querschnittsverhältniß der betreffenden Stelle zur normalen Rohrweite,

wenn $\frac{F_1}{F} = 0{,}8$	0,5	0,25	0
ist $\psi_0 = 0{,}25$	3,5	20	
bis 0,5	5	52	∞

Für die Rohrleitungen von 1000 Fuß Länge und mehr wird der Widerstand von Knieröhren und Ventilen noch eine Druckhöhe beanspruchen, die unter gewöhnlichen Verhältnissen 20 bis 30% der bereits gefundenen beträgt. —

Nachstehende Formeln von Redtenbacher geben in Metermaß die Gefällshöhe h, welche vorhanden sein muß, wenn eine Röhrenleitung von gegebener Länge l und Weite d eine bestimmte Wassermenge Q Kubikmeter pro 1 Sekunde liefern soll.

Man berechne zunächst

$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4}\,\pi\, d^2}.$$

Dann ist

$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{4\,l}{d}\,(\alpha\, v + \beta\, v^2),$$

wobei $\alpha = 0{,}00001733$
$\beta = 0{,}0003483.$

§. 71.

Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen.

I. Messen der Geschwindigkeit des Wassers.

Es ist bereits in §. 8 angegeben, wie man bei einfachen Kanälen von regelmäßigem Querschnitt die Geschwindigkeit durch einen Schwimmer mißt, und daraus die Wassermenge Q findet. — Diese dadurch erhaltenen Resultate, wenn mehrere Versuche angestellt werden, um daraus den Mittelwerth abzuleiten, sind bei einiger Sorgfalt und Uebung durchaus nicht so unzuverlässig, als vielfach behauptet wird. — Ein anderes Mittel, die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche zu messen, ist die Anwendung eines kleinen Blechrädchen, Fig. 4 a und 4 b, Taf. XXI, dessen unterer Theil so weit in das Wasser eingetaucht wird, als gerade nöthig, um demselben die Geschwindigkeit des Wassers zu ertheilen. Die Zahl der Umdrehungen dieses Rädchen läßt sich genau durch das Rädchen c finden, das durch die kleine Schraube ohne Ende auf der Radwelle in Bewegung gesetzt wird. — Das Instrument wird frei in der richtigen Lage gehalten, und die Umdrehungen des Rädchens c nach der Uhr abgezählt. Wenn bei einem Versuche dasselbe u Umdrehungen pro Minute machte, und z Zähne hat, so machte das kleine Wasserrad in derselben Zeit u z Umdrehungen; wenn dessen äußerer Durchmesser = d in Fußen, so ist seine Peripherie = π d, und folglich seine Peripheriegeschwindigkeit pro Sekunde = $\frac{\pi\, d\, u \cdot z}{60}$ Fuße. —

Dies wäre aber die Geschwindigkeit c des fließenden Wassers, vorausgesetzt, daß man dieselbe nicht durch einen Erfahrungskoefficienten korrigiren will, wie beim nächsten Instrumente. —

Der Woltmann'sche Flügel besteht aus einer horizontalen Welle, auf deren einem Ende 4 oder 5 Flügelflächen, ähnlich Windmühlflügeln, befestigt sind, und die in der Mitte eine Schraube ohne Ende trägt, die, ähnlich wie beim vorigen Blechrädchen, in ein Rad greift. — Auf der Welle dieses Rades sitzt noch ein kleines Getriebe, welches im Eingriff mit einem zweiten Rade steht, so daß man dadurch eine größere Anzahl Umdrehungen vorübergehen lassen kann. — Das ganze Instrument wird an eine Stange befestigt, unter Wasser getaucht, die Flügel der Bewegungsrichtung entgegen, und damit es sich leichter einstellt, die Stange wohl auch mit einer Blechfahne ver-

sehen. — Das Resultat würde ungenau ausfallen, wenn nicht das Räderwerk auf einem Hebel angebracht wäre, den eine Feder niederdrückt, so daß ein Eingreifen der Zähne des ersten Rades in die Schraube auf der Flügelwelle nur dann stattfindet, wenn man den Hebel mittelst einer Schnur emporzieht, und dies geschieht erst dann, nachdem die Stange richtig gestellt ist, und die Flügel sich einige Sekunden lang gedreht hatten. —

Mit dem Ziehen der Schnur zählt man die Zeit des Versuches bis zum Loslassen derselben und nimmt das Instrument heraus, um am Zählapparate die Umdrehungen abzulesen. — Man hat dann zu setzen

$$c = a + \alpha \cdot n,$$

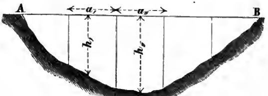
worin c die gesuchte Geschwindigkeit des Wassers,
n die Zahl der Umdrehungen des Flügels in einer Sekunde,
α ein Koefficient, sowie
a diejenige Geschwindigkeit, bei welcher das Wasser nicht mehr im Stande ist, den Flügel zu drehen.

Wenn bei einem Instrumente $a = 0{,}110$ Fuß, $\alpha = 0{,}48$ und $n = 210$ in 80 Sekunden,

$$\text{so ist } c = 0{,}11 + 0{,}48 \cdot \frac{210}{80} = 1{,}37 \text{ Fuß}.$$

Die Konstanten a und α müssen für jedes Instrument erst besonders bestimmt werden in einem Wasser von bekannter Geschwindigkeit. —

Nr. 1.



Wenn das Querprofil eines Flusses keine regelmäßige Figur, sondern etwa nach Abbildung Nr. 1 beschaffen ist, so zerlegt man sich dasselbe in einzelne Trapeze, deren Inhalt man nach den Gesetzen der Geometrie berechnen kann. — Man kann statt dessen auch die mittlern Wasserstände h_1 h_{11} ꝛc. messen, sowie die diesen Linien entsprechenden Geschwindigkeiten c_1 c_{11} u. s. w., und wenn dann noch a_1 a_{11} die dazu gehörigen Theile der Flußbreite A B sind, so ist der Inhalt des ganzen Querprofiles

$$F = a_1\, h_1 + a_{11}\, h_{11} + a_{111}\, h_{111} + \ldots$$

und die Wassermenge

$$Q = a_1\, h_1\, c_1 + a_{11}\, h_{11}\, c_{11} + a_{111}\, h_{111}\, c_{111} + \ldots$$

Daraus kann man auch noch die mittlere Geschwindigkeit finden

$$c = \frac{Q}{F}.$$

II. **Berechnen der Geschwindigkeit fließender Gewässer mittelst der Formeln von Dubuat und Eytelwein.**

Man geht dabei von der Annahme aus, daß der Widerstand, welchen das Wasser in seiner Fortbewegung an der Sohle und den Seitenwänden des Flußbettes erleidet, mit der Größe der vom Wasser berührten Fläche in gleichem Maße wächst und abnimmt, und daß derselbe dem Quadrate der mittlern Geschwindigkeit direkt, dem Flächeninhalt des Querprofiles aber umgekehrt proportional sei. — Es werden dann die weitern Voraussetzungen zu Grunde gelegt, daß sowohl das Querprofil als auch das Gefälle für die betrachtete Strecke von konstanter Größe seien und zur Ueberwindung der Bewegungswiderstände die ganze auf diese Strecke entfallende Gefällshöhe zur Verwendung komme, weil das Wasser ungeachtet seiner Bewegung über eine schiefe Ebene, dennoch keine Geschwindigkeitszunahme erfährt, sondern mit derselben Geschwindigkeit fortfließt, mit welcher es zuströmt. — Wenn unter diesen Voraussetzungen F der Inhalt des Querschnittes, p der vom Wasser benetzte Umfang desselben, so ist für die gleichförmige Bewegung des Wassers auf einer Strecke = l das Gefälle

$$h = \varrho \, \frac{l\,p}{F} \cdot \frac{c^2}{2\,g}$$

und daher die mittlere Geschwindigkeit in den überall gleichen Querprofilen

$$c = \sqrt{\frac{F}{\varrho\, l\, p} \cdot 2\,g\,h.}$$

Bei den mittlern Geschwindigkeiten, welche von $2\frac{1}{2}$ Fuß nicht sehr abweichen, hat man $\varrho = 0{,}008$; daher für das preuß. Fußmaß

$$c = 88{,}4 \sqrt{\frac{F\,h}{l\,p}}.$$

Man findet auch zuweilen eine Formel von Dubuat angegeben; bei denselben Bezeichnungen als vorher ist für das Metermaß

$$c = 56{,}85 \sqrt{\frac{h}{l} \cdot \frac{F}{p}} - 0{,}072.$$

Wird diese Formel in preuß. Maß umgerechnet, und die Versuchszahlen von Eytelwein hinzugenommen, so erhält man im Mittel

$$c = 97{,}5 \sqrt{\frac{h}{l} \cdot \frac{F}{p}} - 0{,}17.$$

III. **Geschwindigkeitsformel für die Bewegung des Wassers in Flüssen nach Humphreys-Abbot's Theorie der parabolischen Bewegung des Wassers.**

Die Unzuverlässigkeiten der bisherigen vorher angeführten Formeln sind längst anerkannt worden; es scheint nun den Bemühungen der amerikanischen Ingenieure Humphreys und Abbot gelungen zu sein, eine neue aufzustellen, auf Grund Jahre lang hindurch fort-

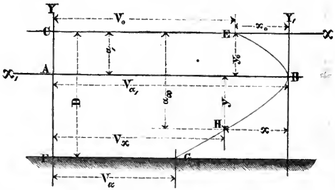
gesetzter Messungen und Beobachtungen am Missisippistrom, die sie auf Kosten der Regierung der Vereinigten Staaten von Nordamerika auszuführen hatten, behufs Stromregulirungen. — Von ihrem Originalbericht ist eine Uebertragung ins Deutsche gegeben worden vom kön. baier. Baubeamten Grebenau. — Der Genannte hat in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1867 die hauptsächlichsten Resultate mitgetheilt. Diese Angaben, sowie eine Besprechung der Grebenau'schen Arbeit durch den Gewerbschullehrer Heidner in Schweinfurt, welche sich in Dingler's Journal Bd. 186 (1867) findet, sind für unser vorliegendes Buch benutzt worden, damit sie den Lesern desselben nicht unbekannt bleiben, denn selbst wenn diese neue Theorie noch Modifikationen durch weitere Beobachtungen finden sollte, wird dieselbe vielfach in der nächsten Zeit besprochen werden.

Die hauptsächlichsten Resultate sind:

1) Die Kurve, welche das Gesetz der Geschwindigkeitsänderung in einer dem Stromstriche parallelen Vertikalebene von oben nach unten ausdrückt, ist eine Parabel, deren Axe unter dem Wasserspiegel liegt und diesem parallel ist.

Bezeichnet $CE = V_0$ die Geschwindigkeit am Wasserspiegel, $GF = V_a$ die Geschwindigkeit an der Flußsohle, A B die Parabelaxe, in ihr die größte Geschwindigkeit, welche V_{a_1} sei. (Abbildung Nr. 2.)

Nr. 2.



Wir gehen zuerst von dem Koordinatensystem X' B Y' aus, und es ist die Gleichung einer Parabel, deren Axe B X' die Abscissenaxe und deren Scheitel im Anfangspunkte B liegt,

$$y^2 = P x.$$

Wenn nun die Flußtiefe $CF = D$, die Tiefe A C der Parabelaxe $= a_1$, so können wir die Koordinaten des Punktes E, welcher die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche bestimmt, ausdrücken durch

$$x_0 = V_{a_1} - V_0 \text{ und } y_0 = a_1$$

und damit den Parameter finden, wenn diese Werthe in die Parabelgleichung eingesetzt werden. Man erhält:

$$a_1^2 = P \cdot (V_{a_1} - V_0),$$

woraus $P = \frac{a_1^2}{V_{a_1} - V_0}$.

Damit wird dann die Gleichung der Parabel

$$y^2 = \frac{a_1^2}{V_{a_1} - V_0} \cdot x.$$

Um diese Gleichung für das Koordinatensystem X C Y umzuwandeln, muß man beachten, daß zwischen den Koordinaten V_x und a_x irgend eines Punktes H der Geschwindigkeitsparabel und zwischen seinen alten Koordinaten x und y folgende Beziehungen stattfinden,

$$x = V_{a_1} - V_x \text{ und } y = a_x - a_1.$$

Daraus ergiebt sich dann die Parabelgleichung für das System X C Y zu:

$$(a_x - a_1)^2 = \frac{a_1^2}{V_{a_1} - V_0} (V_{a_1} - V_x)$$

oder

$$V_x = V_{a_1} - (V_{a_1} - V_0) \cdot \frac{D^2}{a_1^2} \cdot \left(\frac{a_x - a_1}{D}\right)^2.$$

2) Sämmtliche weiter berechnete Geschwindigkeitsparabeln zeigen, daß die Axen derselben zwischen dem Wasserspiegel und der halben Flußtiefe liegen. — In Folge dessen müssen denn auch ganz bestimmte Widerstände am Wasserspiegel stattfinden und der Einfluß derselben von der Oberfläche des Wassers an gegen die Tiefe abnehmen, bis er der Wirkung der nach dem gleichen Gesetz von unten nach oben abnehmenden Widerstände der Flußsohle gleich ist. — Was den zuerst berührten Widerstand betrifft, so ist derselbe in dem Hinderniß zu suchen, welches die mit dem Wasserspiegel in Berührung befindliche atmosphärische Luft, sei es im bewegten oder sei es im ruhenden Zustande, der Fortbewegung entgegensetzt, so daß also die Bewegung des Wassers in einem Flusse wie in einer natürlichen Röhre betrachtet werden kann, deren innere Fläche von der Flußsohle, den Uferwänden und der Atmosphäre gebildet wird. —

Wird durch t die Windstärke bezeichnet, wo der Werth o für Windstille oder einen quer über den Fluß wehenden Wind gilt und ein Orkan = 10 genommen ist, so ergab sich aus den Untersuchungen bis zu der Windstärke = 4, bei welcher noch Beobachtungen möglich waren, daß der Zusammenhang zwischen t, der Lage a_1 der Parabelaxe, dem Inhalt F des Querprofiles und dem vom Wasser bewegten Umfange p seinen gesetzmäßigen Ausdruck in der Formel

$$a_1 = (0{,}317 + 0{,}06 \cdot t) \frac{F}{p}$$

findet, wobei indessen zu bemerken ist, daß der Werth von t positiv zu nehmen ist, wenn der Wind stromaufwärts, negativ wenn er stromabwärts geht, und englisches Fußmaß zu Grunde liegt.

Die Lage dieser Axe ist veränderlich, und hängt von der Stärke und Richtung des Windes, sowie von der Höhe des Wasserstandes ab.

— Der flußaufwärts wehende Wind verlangsamt die Geschwindigkeit an der Oberfläche, drückt also die Parabelaxe tiefer; der flußabwärts-wehende Wind beschleunigt die Wasserspiegelgeschwindigkeit und hebt die Parabelaxe gegen die Oberfläche. —

3) Die beiden vertikalen Geschwindigkeitsparabeln, welche an einer und derselben Flußstelle gleichen Windstärken auf- und abwärts entsprechen, so wie die Parabel für Windstille, schneiden sich alle drei in einem einzigen Punkte, welcher in der halben Wassertiefe liegt. In dieser Tiefe ist also der Wind von keinem Einflusse auf die Geschwindigkeit. —

4) Der Parameter der vertikalen Geschwindigkeitsparabeln ist direkt proportional der Wassertiefe, diese Parabel ist also in einem und demselben Querprofile des Flusses um so flacher gekrümmt, je größer die Wassertiefe ist. — Der Parameter ist umgekehrt proportional der Quadratwurzel der mittlern Flußgeschwindigkeit, oder

$$P : P' = \sqrt{v'} : \sqrt{v}.$$

5) Ist daher für irgend ein Flußprofil die mittlere Geschwindigkeit (welche jedoch nur annähernd bekannt zu sein braucht) bekannt, so läßt sich die Gleichung der vertikalen Geschwindigkeitsparabel für irgend einen Punkt und gegebene Wassertiefe dieses Querprofiles aufstellen, und, wenn die absolut größte Geschwindigkeit unter Wasser sowie die Lage der Parabelaxe unter Wasser bekannt ist, die Geschwindigkeit an einem beliebigen Punkte der Tiefe berechnen. —

6) Mittelst der Gleichung der vertikalen Geschwindigkeitsparabel lassen sich, wenn für drei Punkte einer dem Stromstriche parallelen Vertikalebene die Geschwindigkeiten gemessen wurden, nicht allein die größte Geschwindigkeit und die Lage der Axe, sondern auch die Oberflächen- und Bodengeschwindigkeit, die mittlere Geschwindigkeit der Vertikalebene und selbst (wenn auch nur annähernd) die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Flusses berechnen. —

Die mittlere Geschwindigkeit am Wasserspiegel ist

$$U_o = 0{,}93 \cdot v + \sqrt{\frac{1{,}69}{\left(\frac{F}{p} + 1{,}5\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot v \times [0{,}016 - 0{,}06 \cdot t]}$$

und die mittlere Geschwindigkeit an der Flußsohle ist

$$U_a = 0{,}93 \cdot v + \sqrt{\frac{1{,}69}{\left(\frac{F}{p} + 1{,}5\right)^{\frac{1}{2}}} \cdot v \times [0{,}06 \cdot t - 0{,}350]}$$

in beiden Formeln englisches Fußmaß angenommen, und unter v die mittlere Geschwindigkeit des ganzen Flusses verstanden. —

7) Es kann als wenigstens annähernd richtig angenommen werden, daß jedes Wassertheilchen sich mit gleicher Geschwindigkeit durch die einzelnen Querprofilelemente hindurch bewegt, oder mit andern Worten: Wenn man den Fluß parallel mit der Stromrichtung in Wasserfäden zerlegt, so können diese zwar unter sich verschiedene Geschwindigkeiten haben, jeder einzelne Wasserfaden aber muß sich an allen seinen Punkten mit der gleichen Geschwindigkeit bewegen. —

Zieht man nun eine Flußstrecke von der Länge l in Betracht, so wirken auf die in ihr enthaltene Wassermenge zweierlei Kräfte ein,

nämlich die Schwere einerseits und andererseits die Reibung des Wassers an Sohle, Uferwänden und Atmosphäre. Dieser Widerstand kann mit der Reibung verglichen werden, welche entsteht, wenn man einen Körper durch eine Röhre preßt, und man nennt ihn den Adhäsionswiderstand.

Von der beschleunigenden Kraft der Schwere kommt nur der Theil zur Wirkung, welcher parallel der Flußsohle thätig und demnach gleich dem Produkte aus dem Gewichte der Wassermasse mal dem Sinus des Gefällswinkels. — Letzterer kann in der Praxis gleich dem absoluten Gefälle $\frac{h}{l} = \frac{\text{Gefälle}}{\text{horizontale Projektion der Flußstrecke}}$ genommen werden. — Ist daher γ das Gewicht der Volumeneinheit des Wassers, so muß die auf Beschleunigung wirkende Kraft der ganzen Wassermenge von dem Werthe vom Querprofil F und der Länge l gleich

$$F \cdot l \cdot \gamma \cdot \frac{h}{l} \text{ sein.}$$

Der Adhäsionswiderstand ist proportional der vom Wasser berührten Gesammtfläche, also wenn W die Flußbreite bezeichnet, proportional

$$l \cdot (W + p).$$

Dieser Widerstand muß aber auch einer gewissen Funktion der mittlern Geschwindigkeit der äußern Flüssigkeitsschicht proportional sein, welche mittlere Geschwindigkeit ausgedrückt ist durch

$$\frac{U_0 W + U_a \cdot p}{W + p}$$

und daher auch proportional dem Produkte

$$l \cdot (W + p) \cdot t \cdot \left(\frac{U_0 W + U_a \cdot p}{W + p}\right).$$

Es ist nun einleuchtend, daß die beschleunigende Kraft, welche aus der Schwere resultirt, durch die Ueberwindung des Adhäsionswiderstandes vollkommen absorbirt werden muß und daher beide einander gleich zu setzen sind. — Dadurch entsteht die allgemeine Formel:

$$F \cdot l \cdot \gamma \cdot \frac{h}{l} = i \cdot l \cdot (W + p) \cdot t \cdot \left(\frac{U_0 W + U_a \cdot p}{W + p}\right),$$

in welcher i eine Konstante ist, die von den Reibungsverhältnissen des Wassers abhängt. — Weitere Beobachtungen und darauf gegründete Reduktionen haben dann schließlich zu der von Humphreys-Abbot aufgestellten Formel geführt:

$$v = \left[\sqrt{0{,}0081 \cdot b + (225{,}46 \cdot r \cdot s^{\frac{1}{2}})^{\frac{1}{2}}} - 0{,}09 \sqrt{b}\right]^2,$$

$$\text{wobei } b = \frac{1{,}69}{\sqrt{\left(\frac{F}{p} + 1{,}5\right)^{\frac{1}{2}}}}$$

$$r = \frac{F}{W + p}$$

$$s = \frac{h}{l}$$

und englisches Fußmaß zu Grunde gelegt ist. —

Grebenau hat diese Gleichung durch weitere Rechnung vereinfacht, und Koefficienten eingeführt, daß sie demohngeachtet Werthe liefert, die mit denen der Humphreys-Abbot'schen Formel übereinstimmen, es ist

$$v = \beta \cdot k \sqrt{\frac{F}{W+p}} \cdot \sqrt[4]{\frac{h}{l}}.$$

Der Koefficient k ist

für englisches Fußmaß	=	15,01532
für baierisches „	=	15,34439
für preußisches „	=	14,79670
für Metermaß	=	8,28972.

Der Koefficient β ist:

für kleine Wassergräben,	$F < 1$	□Meter	β =	0,8543
für kleine Bäche,	$F = 1 - 5$	□Meter	β =	0,8796
für größere Bäche	$F = 5 - 10$	□Meter	=	0,8890
für Flüsse, wo	$F = 20 - 400$	□Meter	=	0,9223
für Flüsse, wo	F über 400	□Meter	=	0,9459.

8) Das bisher angenommene konstante Verhältniß zwischen der Geschwindigkeit an der Oberfläche und der mittlern Geschwindigkeit derselben Partikalebene existirt nicht; wohl aber ist das Verhältniß zwischen der Geschwindigkeit in der halben Tiefe und der mittlern Geschwindigkeit in derselben Vertikalebene konstant. —

Bei verschiedener Höhenlage der Parabelaxe und der stärkern oder schwächern Krümmung der Parabel können die Oberflächengeschwindigkeit und die mittlere Geschwindigkeit in keinem konstanten Verhältnisse stehen. — Da aber die mittlere Geschwindigkeit im Allgemeinen nur um etwas Weniges tiefer liegt, als die Geschwindigkeit in der halben Flußtiefe, und das zwischen beiden liegende Parabelstückchen als gerade und von nahezu konstanter Neigung angesehen werden kann, so läßt sich zwischen beiden Geschwindigkeiten ein sehr nahe konstantes Verhältniß aufstellen. — Humphreys und Abbot finden an ihren Messungen die mittlere Geschwindigkeit v = 0,94 bis 0,98 der Geschwindigkeit in der halben Flußtiefe. —

Grebenau hat eine graphische Vergleichung gegeben der mittlern Geschwindigkeiten des Rheines (240 Meter breit, im Maximo 5 Meter tief) und des Hockenbaches (3,40 Meter breit, 0,40 Meter tief) für ein und dasselbe Querprofil und verschiedene Gefälle nach den Formeln von Dubuat, de Prony, Eytelwein und Humphreys-Abbot. — Es wird hier nachgewiesen, daß die Eytelwein'sche Formel bei Gefällen unter 0,1 auf 1000 Länge zu kleine Geschwindigkeiten giebt, und daß der Fehler bis 30 % betragen kann, daß beispielsweise diese Formel für einen Fluß wie der Rhein bei einem Gefälle von 0,05 auf 1000 nur 0,67 Meter, die Humphrey-Abbot'sche Formel aber 0,79 Meter mittlere Geschwindigkeit giebt; ferner daß bei Gefällen über 0,1 : 1000 die Eytelwein'sche Formel zu große Geschwindigkeiten giebt, welcher Fehler mit dem Gefälle wächst, so zwar, daß für einen Fluß wie der Rhein bei einem Gefälle von 1 : 1000 die mittlere Geschwindigkeit nach Eytelwein = 3,02 Me-

ter, nach Humphrey-Abbot aber nur 1,72 Meter beträgt, also Eytelwein nur 74 % zu viel angiebt, welcher kolossale Fehler bei einem Gefälle von 1 : 500 sich auf 171 % oder das $1\frac{3}{4}$fache der wahren mittlern Geschwindigkeit steigert. —

9) Die Horizontalkurven der Geschwindigkeit sind bei regelmäßig und symmetrisch geformten Querprofilen, wo der Thalweg in der Mitte liegt, gleichfalls Parabeln des zweiten Grades, deren Parameter mit dem reciproken Werthe der Quatratwurzeln der mittlern Flußgeschwindigkeit variirt.

Bei unregelmäßigen Querprofilen findet ein anderes Gesetz der Geschwindigkeitsvertheilung nach der Breite des Flusses statt, mit dessen Aufsuchen sich die neue Theorie jedoch nicht befaßt. —

§. 72
Ausfluß des Wassers bei Ueberfällen.

Wenn das Wasser durch eine Oeffnung fließt, die in der horizontalen Wand, also im Boden eines Gefäßes sich befindet, so ist $Q = F\,v = F \cdot \sqrt{2\,g\,h}$. — Befindet sich aber die Oeffnung in einer Seitenwand des Gefäßes, so fließen die in verschiedener Tiefe befindlichen Wasserelemente mit verschiedener Geschwindigkeit aus; denkt man sich h in n Theile zerlegt, so sind deren Druckhöhen der Reihe nach $\frac{1}{n}\,h$, $\frac{2}{n}\,h$, $\frac{3}{n}\,h$ u. s. w., die einzelnen Geschwindigkeiten also gleich

$$\sqrt{2\,g\,\frac{h}{n}},\quad \sqrt{2\,g\,\frac{2h}{n}}\quad \sqrt{2\,g\,\frac{3\,h}{n}}\quad \text{u. s. w.}$$

und folglich, da jeder der n Theile bei derselben Breite b den Inhalt $= b \cdot \frac{h}{n}$ hat, so ist die Summe der Wassermengen

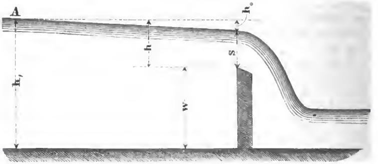
$$Q = \frac{b\,h}{n}\left(\sqrt{2\,g\,\frac{h}{n}} + \sqrt{2\,g\,\frac{2\,h}{n}} + \sqrt{2\,g\,\frac{3\,h}{n}} + \ldots\right)$$

$$= \frac{b\,h\,\sqrt{2\,g\,h}}{n \cdot \sqrt{n}}\left(\sqrt{1} + \sqrt{2} + \sqrt{3} + \ldots + \sqrt{n}\right)$$

$$= \frac{b\,h \cdot \sqrt{2\,g\,h}}{n \cdot \sqrt{n}} \cdot \tfrac{2}{3}\,n\,\sqrt{n}$$

$$= \tfrac{2}{3}\,b\,h \cdot \sqrt{2\,g\,h}.$$

Nr. 3.



Dem Ausfluß aus der Seitenwand eines Gefäßes ist der Ausfluß des Wassers bei Ueberfällen zu vergleichen. Wenn in Abbildung Nr. 3 der Scheitel oder die Krone des Ueberfalles über dem Wasserspiegel des abfließenden Wassers liegt, wo möglich in einer Höhe gleich h oder darüber, so ist der Ueberfall ein vollkommener. Die vorige Formel kann als Grundformel zur Berechnung des Ausflusses bei Ueberfällen betrachtet werden:

$$Q = \tfrac{2}{3}\, \mu_0\ b \cdot h \cdot \sqrt{2\,g\,h} \qquad (1.)$$

worin

Q die Wassermenge pro Sekunde
b die Breite des Ueberfalles
h dessen Druckhöhe, d. h. die Höhe h, Abbildg. über der obern Kante des Ueberfalles an dem Punkte der Wasseroberfläche, wo noch keine Senkung des Wasserspiegels eintritt.
μ_0 ein von den Dimensionen und den Verhältnissen des Ueberfalles abhängiger Koefficient.

Wenn man $\frac{2}{3}\,\mu_0 = \mu$ setzt, kann man die vorige Formel auch schreiben

$$Q = \mu \cdot b h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2\,g} \qquad (2.)$$

oder

$$\mu = \frac{Q}{b h^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\,g}} \qquad (3.)$$

Wenn ferner $\frac{b}{B}$ das Verhältniß der Breite b des Ueberfalles zur Breite B des Reservoirs, und $\mu = \frac{2}{3}\,\mu_0$ gesetzt wird, so nahm man für mittlere Verhältnisse meistens an:

$\frac{b}{B} =$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
$\mu =$	0,443	0,438	0,431	0,423	0,416	0,410	0,405	0,309

Weiter eingehende Versuche von Bidone, Eytelwein, d'Aubusson, Boileau, Castel, Poncelet, Lesbros, Weisbach, Francis haben jedoch längst gezeigt, daß der Koefficient μ nicht blos eine

Funktion der Druckhöhe h und des Verhältnisses $\frac{b}{B}$ ist, sondern daß er auch abhängig ist von der Strahlstärke s und der Reservortiefe h_1. — Deshalb hatte auch keine der verschiedenen Formeln eine allgemeine Brauchbarkeit, bis es erst in neuester Zeit dem Professor Braschmann in Moskau gelungen ist, eine neue Formel aufzustellen, die dem praktischen Bedürfniß zu genügen scheint. — Dieselbe wird in der Schweiz. Polytechn. Zeitschrift Bd. IX. (1864) von Stüssi, sowie in den Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. in Preußen, Jahrgang 1867 von Studt näher besprochen. —

Die Senkung der Oberfläche des Wasserspiegels von dem Punkte A bis zur Kante des Ueberfalles, Abbildung Nr. 3, ist

$$h_0 = h - s.$$

Man kann etwa den Punkt A in einer Entfernung gleich 1 — 2 Meter vom Ueberfall annehmen, jedoch ist dieses Maß sehr veränderlich. — Da man meistens die Strahlstärke s bequemer messen kann als die Druckhöhe h, setzte man wohl auch

$$\frac{h}{s} = 1{,}178 \text{ wenn } b = \tfrac{4}{5}\text{ B. oder } \frac{b}{B} = 0{,}8$$

$$\text{und } \frac{h}{s} = 1{,}25 \text{ wenn } b = B.$$

Die so erhaltenen Werthe von h sind jedoch nur innerhalb sehr beschränkter Grenzen richtig.

Im letztern Falle b = B wäre der Ueberfallquerschnitt = b h und der Reservoirquerschnitt = b h' = b (h + w). Boileau hat auf Grund direkter Messungen nachstehende Tabelle zusammmengestellt. für die Werthe von $\frac{h}{s}$ bei freiem Ueberfall wie Abbildung Nr. 3. und wenn b = B ist:

Gemessene Strahlstärke: s Millimeter.	Bei Ueberfallhöhen w in Millimeter.								
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
30	1,255	1,308	1,320	1,276	1,216	1,192	1,189	1,193	1,197
40	1,225	265	280	245	213	198	193	196	199
50	1,211	243	246	224	207	200	195	198	200
60	1,202	234	230	212	203	198	194	197	196
70	1,197	226	222	206	200	195	192	191	193
80		222	218	202	198	193	191	189	191
90		219	216	200	195	192	190	188	189
100		217	214	198	193	190	189	186	187
120		212	209	197	193	190	189	183	184
140			201	194	193	191	189	181	180
160			194	190	194	194	188	180	178
180				189	194	195	188	178	176
200					193	192	187	176	174
220					192	191	186	176	176
240					191	190	186	178	180
260					190	190	186	182	182
280							184	184	184
300							184	186	185
320							182	188	186
340							181	188	186
360							181	189	186
380							181	190	—

Werthe von $\frac{h}{s}$ bei Ueberfall unter Wasser. (Abbildung Nr. 4).

Gemessene Strahlstärke. s Millimeter.	Bei Ueberfallhöhen w in Millimeter.				
	200	300	400	500	600
60	1,239	—	—	—	—
70	241	—	—	—	—
80	239	—	—	—	—
90	231	—	—	—	—
100	223	—	—	—	—
120	211	1,253	—	—	—
140	200	234	1,242	—	—
160	192	222	231	—	—
180	186	212	222	—	—
200	182	204	215	1,223	—
220	180	198	209	219	—
240	178	193	204	215	1,226
260	177	189	200	211	221
280	176	186	196	207	217
300	174	184	194	205	215
320	172	182	191	202	212
340	170	179	188	199	210
360	168	176	185	197	209
380	—	173	182	194	207

Den in neuerer Zeit von Francis angestellten Ueberfallversuchen dagegen wurde ein 13,96 engl. Fuß breiter Versuchskanal mit einem 9,997' breiten Ueberfall also $\frac{b}{B} = 0,716$ zu Grunde gelegt und hat Francis nachstehende Formel daraus abgeleitet

$$Q = C\,(b - 0,2\,h)\,h^{\frac{3}{2}} \qquad (5.)$$

wobei C = 3,3002 — 3,3617 sich ergeben, bei englischem Maßsystem. Setzen wir Formel (3.) gleich Formel (5.), also

$$Q = C\,(b - 0,2\,h)\,h^{\frac{3}{2}} = \mu \cdot b\,h^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g}$$

so ergiebt sich $\mu = \frac{c}{\sqrt{2g}} \cdot \frac{b - 0,2\,h}{b}$ (6.)

Druckhöhe mm.	Ueberfallhöhe 3,048' = 1,504. m		Ueberfallhöhe 2,014' = 0,615 .		Druckhöhe mm.
	C nach den Versuch.	berechnet μ	C nach den Versuch.	berechnet μ	
180	3,3281	0,4099	3,3278	0,4094	200
237	3,3261	0,4081	3,3406	0,4099	238
243	3,3237	0,4077	3,3383	0,4094	246
278	3,3281	0,4065	3,3417	0,4092	270
321	3,3263	0,4058	3,3548	0,4094	320
327	3,3283	0,4060	3,3509	0,4087	328
381	3,3159	0,4030			
477	3,3002	0,3985			

Francis hat bei seinen Messungen gefunden, daß das Unterwasser keinen bemerkbaren Einfluß auf die Ausflußmenge Q äußert, so lange es nicht höher als bis 3 Zoll unter die Ueberfallkante tritt.

Wir kehren zu den Formeln (1.) und (2.) zurück, dieselben sind

$$Q = \tfrac{2}{3}\,\mu_0\,b \cdot h \cdot \sqrt{2\,g\,h} = \mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{2\,g}$$

Braschmann hat nun einen Ausdruck für $\frac{2}{3}\,\mu_0 = \mu$ aufgestellt, welcher die Formel hat

$$\mu = \alpha + \beta \cdot \frac{b}{B} + \delta \cdot \frac{1}{h}$$

worin α, β, δ drei konstante Größen b, B und h die schon bekannten Bezeichnungen sind. — Wenn man berücksichtigt; 1) daß der Koefficient μ eine Funktion der Druckhöhe, indem er den Versuchen zufolge wächst, während dieselbe abnimmt; 2) daß derselbe auch von $\frac{b}{B}$ abhängig ist, d. h. je kleiner $\frac{b}{B}$ desto mehr müssen die Wasserfäden ihre gerade Richtung verändern, um zum Ausfluß zu gelangen, desto geringer wird also die Ausflußmenge sein; so wird man schon von vornherein den von Braschmann gewählten Ausdruck als gut bezeichnen können. — Allerdings ist das Verhältniß $\frac{h}{h + w} = \frac{h}{h_1}$

nicht darin enthalten, denn es ist offenbar daß wie bei der Breite ein ähnliches Verhältniß auch stattfinden wird bei der Tiefe. da die untersten Wasserfäden bis zur Höhe derselben emporsteigen müssen. — Da indessen bei Prüfung der Formel an den Versuchsresultaten (namentlich denen von Francis) sich nur eine geringe Differenz von 1 bis 2 g herausgestellt hat, so kann, dieses Verhältniß $\frac{h}{h}$ nur von geringem Einfluß auf das Resultat sein, oder, man kann annehmen, daß es zum Theil in der Konstanten α liegt, und man kann, soweit sich bis jetzt übersehen läßt, sagen, daß die Braschmann'sche Formel für den Ueberfall in dünner Wand, oder mit stromabwärts abgeschrägter Kante für Druckhöhen über 100 Millim. ganz genau ist, unter 100 Millim. im Mittel um 2 g differirt und selbst bei kleinen Druckhöhen von 30 Millim., = 1,14″ preuß. nicht über 4 g. — Sind die Druckhöhen kleiner als 30 Millim., so wird man besser thun, den Ausfluß durch Mündungen und nicht durch Ueberfall zu messen.

Diese Braschmann'sche Formel ist nun aber

$$Q = \left(\alpha + \beta \cdot \frac{b}{B} + \delta \cdot \frac{1}{h}\right) b\, h \sqrt{2\, g\, h} \qquad (7.)$$

oder auch

$$= \left(\alpha + \beta \cdot \frac{b}{B} + \delta \cdot \frac{1}{h}\right) b\, h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2\, g}$$

worin $\alpha = 0{,}3838$, $\beta = 0{,}3086$ } für jedes Maßsystem;

dagegen δ für Metermaß . . . . . . = 0,00053
„ preußisches Maß . . . . = 0,001686
„ schweizerisches und badisches Maß = 0,001766
„ englisches Maß . . . . . = 0,001614 ist.

Studt hat zu dem oben erwähnten Aufsatze ein Diagramm geliefert, welches den Koefficienten der Braschmann'schen Formel sofort ergiebt; auch die nachstehende Tabelle für Metermaß giebt den Konficienten

$$\mu_1 = \left(\alpha + \beta \cdot \frac{b}{B} + \delta \cdot \frac{1}{h}\right) \sqrt{2\, g}$$

so daß dann $Q = \mu_1 \cdot b\, h_{\frac{3}{2}} = \mu_1 \cdot b \cdot \sqrt{h^3}$ (8.)

$\frac{b}{B}$	Druckhöhe h in Metern.							
	0,030	0,050	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600
=0,1	1,7969	1,7640	1,7410	1,7295	1,7256	1,7233	1,7220	1,7216
0,4	1,8478	1,8150	1,7920	1,7805	1,7765	1,7741	1,7729	1,7725
0,6	1,8823	1,8496	1,8260	4,8146	1,8106	1,8083	1,8070	1,8066
0,8	1,9165	1,8836	1,8602	1,8486	1,8452	1,8425	1,8411	1,8407
1	1,9505	1,9178	1,8943	1,8828	1,8787	1,8765	1,8752	1,8748

Werthe von μ_1

Die Messung der Druckhöhe h kann, wie schon vorher angegeben wurde, bei der Tabelle für die Werthe von $\frac{h}{s}$ durch direkte Messung

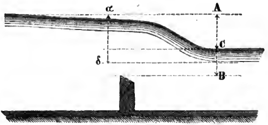
der Strahlstärke s erfolgen. Hierzu empfiehlt sich ein Blechstreifen mit deutlich aufgemalter Maßeintheilung. Er wird mit der schmalen Kante der Strömung entgegen auf die Ueberfallskante so aufgesetzt, daß er genau vertikal steht und seine stromaufwärts gerichtete Kante mit der stromaufwärts gerichteten Fläche des Ueberfalls zusammenfällt. Man erreicht dies am besten, wenn man das Blech unten hakenförmig ausschneidet. Bei nur einmaliger Messung kann ein Fehler entstehen, wenn die Kante des Ueberfalles nicht ganz horizontal ist, man mißt deshalb an mehreren Stellen und nimmt den sich daraus ergebenden Mittelwerth.

Man kann aber auch die Druckhöhe h finden, indem man vom Punkte A nivellirt, wo die Oberfläche noch keine Senkung erfahren hat, bis zur Kante des Ueberfalles. —

Man kann dieselbe auch noch finden durch eine von Boileau empfohlene, an beiden Seiten offene grade Glasröhre, die dicht vor der stromaufwärts befindlichen Kante senkrecht aufgestellt wird, das untere Ende nicht allzu weit über der Sohle des Reservoirs. — Nach dem Gesetz der kommunicirenden Röhren steigt das Wasser in den Röhren so hoch, als der Punkt A liegt; dieses Niveau in der Röhre über der Kante des Ueberfalles giebt sofort die Druckhöhe h. — Es hat sich bewährt eine dünnwandige Röhre zu wählen und dieselbe vor dem Gebrauch mit einer alkoholischen Farblösung, z. B. von Krapp schwach zu versetzen, um das Niveau sichtbarer hervortreten zu lassen. — Noch besser als eine runde Röhre wäre es vielleicht, wenn man eine Röhre wählen könnte, deren horizontaler Querschnitt ein gleichschenkliges Dreieck ist, dessen dem Strom zugekehrter Winkel möglichst klein zu machen wäre.

Die Messung der Druckhöhe, mag sie aus der direkten Strahlstärke mit Hülfe der Tabelle, oder durch Nivelliren oder durch eine Röhre gefunden werden, eine kleine Differenz in dem erhaltenen Resultate wird immer stattfinden, und es empfiehlt sich daher, wenn es die Verhältnisse erlauben, alle drei Methoden anzuwenden, und auch hieraus wieder das Mittel zu nehmen. —

Nr. 4.



Wenn der vertikale Abstand des Ober- und Unterwasserspiegels kleiner ist, als die Höhe des Oberwasserspiegels über dem Scheitel des Ueberfalles, oder was dasselbe ist, wenn das Unterwasser über dem Scheitel des Ueberfalles steht, wie in Abbildung Nr. 4. so ist der Ueberfall ein unvollständiger.

Die Ausflußmenge wird sich dann nicht mehr mit Genauigkeit in vorher angegebener Weise feststellen lassen, da sich der abfließende Strahl im Unterwasser anstaut, und man wird diese Anordnung nicht mehr zu Wassermessungen benutzen. — Annähernd könnte man vielleicht die Höhe A B aus zwei Theilen bestehend denken, und den obern Theil als vollkommenen Ueberfall betrachten, dessen Höhe = A C, gleich dem Niveauunterschiede h der beiden Wasserspiegel, und den untern Theil B C mit der Oeffnung in einer vertikalen Seitenwand vergleichen, deren Druckhöhe $= \alpha\, \delta - \frac{B\,C}{2}$ also wieder = h ist. — Es wäre dann die Wassermenge für jeden der beiden Theile zu bestimmen, so daß die Summe die ganze Wassermenge wäre; aber das Resultat wird keinen Anspruch auf Genauigkeit machen können. —

§ 73.

Vom Aufstauen des Wassers durch Wehre.

1. Wassermenge.

Die Wehre, welche zur Anstauung des Wassers für technische Zwecke erbaut werden, sind Ueberfälle mit abgerundeter oder ebener Krone, so daß das Wasser entweder gar keine oder doch weniger Kontraktion erleidet als bei einem Ueberfall mit scharfer Kante, d. h. es wird unter gleichen Verhältnissen die Wassermenge größer sein. Man erhält die Wassermenge bei einem solchen Wehre, wenn man den vorher gewonnenen Koefficienten μ noch multiplicirt mit

$$1{,}24 \sqrt{1 + 0{,}115\, \frac{v^2}{h}} \text{ bei Metermaß}$$

und mit

$$1{,}24 \sqrt{1 + 0{,}04\, \frac{v^2}{h}} \text{ bei preußischem Maß,}$$

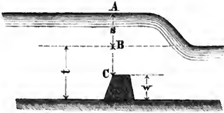
wo h die vorige Bezeichnung hat, und v die Geschwindigkeit des Flusses in einiger Entfernung vor dem Wehre ist. —

In den meisten Fällen handelt es sich bei den Wehren nicht blos um die darüber fließende Wassermenge, sondern es frägt sich entweder: wie hoch wird das Wasser im Flusse durch das Wehr angestaut werden, oder wie hoch kann das Wehr gemacht werden, damit die dadurch verursachte Anstauung die vorhandenen Uferverhältnisse nicht verletzt. — In beiden Fällen handelt es sich also 1) um die von der Wehrhöhe abhängige Stauhöhe, — 2) aber auch um die Stauweite d. h. um die Entfernung, auf welche sich die stauende Wirkung eines Wehres stromaufwärts erstreckt. — Bei kleinen Bächen und Flüssen, deren ganze Wassermenge vermittelst eines Wehres nach einem dicht oberhalb desselben abführenden Wassergraben geleitet werden soll, wird bei mittlerm und kleinem Wasserstand gar kein Wasser über die Wehrkrone laufen, so daß also eine für oberhalb gelegene Werke oder Grund-

stücke nachtheilige Anstauung nur stattfinden wird, wenn der Wassergraben, dessen Wassermenge durch Schleußen zu reguliren ist, nicht mehr die ganze im Flusse zufließende Wassermenge fassen kann, welcher Fall bei Hochwasser eintreten wird, während sonst das Wehr in solchem speciellen Falle nur dazu dient, die Richtung des Wasserlaufes zu verändern, weil man das Mühlen- oder Fabrikgebäude nicht an den Fluß bauen konnte, oder das durch Terrainverhältnisse gegebene natürliche Gefälle einer bestimmten Fluß-Länge auf einen Punkt koncentriren wollte, ohne daß eine Anstauung erforderlich wird. — Dieser Fall wird im allgemeinen bei oberschlägigen Werken eintreten können, selten bei unterschlägigen. —

2. Stauhöhe.

Nr. 5.



Es sei in Abbildung Nr. 5.

t die natürliche Tiefe des Flusses, ehe das Wehr angelegt wird,
b die mittlere Breite des Flußbettes,
c die mittlere Geschwindigkeit,

} also $t \cdot b \cdot c = Q$

b_1 die Länge des Wehres,
w die Höhe desselben,
s die Stauhöhe AB, um welche das Wasser durch das Wehr angestaut wird.

Denkt man sich die Höhe AC bestehend aus den beiden Theilen AB und BC, so wird die Wassermenge, welche durch AB fließt, annähernd sein

$$\tfrac{2}{3}\,\mu \cdot b_1 \cdot s\sqrt{2gs}.$$

Die mittlere Flußgeschwindigkeit wäre c, welcher die Geschwindigkeitshöhe $\frac{c^2}{2g}$ entspräche; durch die Anstauung s wird dieselbe $= \frac{c^2}{2g} + s$, deshalb ist die davon abhängige Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser durch BC fließt $= \sqrt{2g\left(\frac{c^2}{2g} + s\right)}\ \sqrt{c^2 + 2gs}$

folglich die durch BC abfließende Wassermenge

$$\mu \cdot (t - w)\, b_1 \sqrt{c^2 + 2gs}$$

also die gesammte Wassermenge

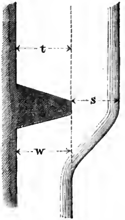
$$Q = \tfrac{2}{3}\,\mu \cdot b_1 \cdot s\sqrt{2gs} + \mu\,(t - w)\, b_1 \sqrt{c^2 + 2gs}$$

oder

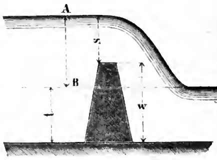
$$\frac{Q}{\mu b_1} = \tfrac{2}{3}\, s \sqrt{2\,g\,s} + (t - w)\sqrt{c^2 + 2\,g\,s} \qquad \text{(I.)}$$

woraus man s durch Einsetzung der entsprechenden Werthe erhält. — Den Koefficienten μ findet man nach Anleitung des vorigen Paragraphen mit Bezugnahme auf das in 1. dieses Paragraphen Gesagten, wenn man statt dessen nicht ohne Weiteres den Annäherungskoefficienten $\mu = 0{,}75 - 0{,}80$ einsetzen will.

Nr. 6.



Nr. 7



Ist die Höhe des Wehrdammes w gleich der natürlichen Wassertiefe t, Abbildung Nr. 6, also $t = w$ so wird der zweite Summand in Gleichung (I.) = 0, und man erhält

$$\frac{Q}{\mu b_1} = \tfrac{2}{3} \cdot s \sqrt{2\,g\,s}$$

$$\text{oder } \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{\mu \cdot \frac{2}{3} \cdot b_1 \sqrt{2\,g}}\right)^2} = s \qquad \text{(II.)}$$

Ist dagegen endlich die Höhe des Wehrdammes w größer als t, so ist die Stauhöhe, Abbildung Nr. 7,

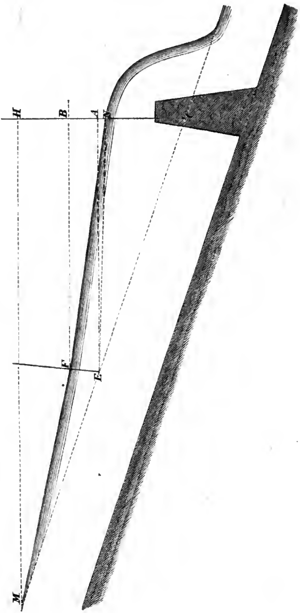
$$AB = w + s - t$$

$$= w - t + \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{\mu \cdot \frac{2}{3} \cdot b_1 \sqrt{2\,g}}\right)^2} \qquad \text{(III.)}$$

Aus diesen 3 Formeln kann man sowohl die Stauhöhe AB finden wenn w gegeben ist, aber auch, welcher Fall wohl der häufigere, die Höhe w des anzulegenden Wehrdammes bei bereits gegebenen Flußufern; woraus sich dann ergiebt, ob man einen vollkommenen Ueberfall oder nur ein Grundwerk anlegen kann. —

Die Stauverhältnisse bei einem Schleußenwehre finden sich aus der Ausflußmenge durch Schützöffnungen. — Die Ausflußgeschwindigkeit hängt von der Druckhöhe h ab, bei freiem Abfluß ist dies die

Höhe, vom Ober-Wasserspiegel bis Mitte der Schutzöffnung; staut dagegen das Unterwasser zurück, so ist h der Niveauabstand zwischen Ober- und Unterwasser. — Man hat



Nr. 8.

$$\left.\begin{aligned} Q &= \mu \cdot a\, b \sqrt{2\,g\,h} \\ \text{oder } h &= \frac{1}{2\,g} \cdot \left(\frac{Q}{\mu \cdot a \cdot b}\right)^2 \\ a &= \frac{Q}{\mu \cdot b \cdot \sqrt{2\,g\,h}} \end{aligned}\right\} \text{IV.}$$

worin Q die Wassermenge p. Sekunde
h die Druckhöhe
a die Höhe } der Schützöffnung.
b die Breite }
und μ nach Versuchen von Weisbach = 0,60 zu setzen ist.

3. Stauweite.

Es sei Abbildung Nr. 8. MFN die Oberfläche des gestauten Wassers, MEC die des Wassers bevor das Wehr eingebaut wird; also NC die Stauhöhe. — Man betrachte die bogenförmige Linie als Kreisbogen, so sind ME und EN Tangenten an den Kreis, die man einander gleich annehme. Zieht man aus E die Horizontale EA, so ist AC das Gefälle h für den ungestauten Wasserspiegel, zieht man ferner durch F die Horizontale FB, so ist BN das Gefälle h_1 für den gestauten Wasserspiegel.

Ist $\frac{h}{l}$ das Gefälle des Flusses auf die Längeneinheit vor dem Einbaue des Wehres, $\frac{h_1}{l}$ das Gefälle nach dem Einbaue, so verhält sich:

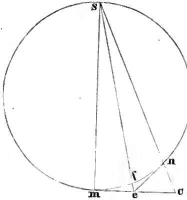
$$EA : AC = l : h$$
$$FB : BN = l : h_1$$

oder da E A = F B genommen werden kann,

$$AC = \frac{h}{l}\ EA \text{ und } BN = \frac{h_1}{l}\ EA.$$

$$\text{Nun ist } NC = BC - BN$$
$$BC = BA + AC = EF + AC$$
$$\text{Und da } EF = \tfrac{1}{4}\ NC\ ^{*)}$$

Nr. 9.



*) Wenn in Abbildung Nr. 9 cm Tangente und ms der Durchmesser des Kreises, so ist

$$cm^2 = cn \cdot cs$$
$$\text{ebenso } em^2 = ef \cdot es.$$

Man kann ohne großen Fehler, wenn der Kreis sehr groß, cs = es = ms setzen und erhält

$$cn = \frac{cm^2}{ms} \text{ und } ef = \frac{em^2}{ms}$$

Hat man nach Konstruktion $em = \frac{1}{2}\,cm$ gemacht, so ist $ef = \frac{(\frac{1}{2}\,cm)^2}{ms} = \frac{1}{4}\,cn.$

so ist $NC = \frac{1}{4} NC + AC - BN$

oder $\frac{3}{4} NC = AC - BN$

$$= \frac{h}{l} EA - \frac{h_1}{l} \cdot EA$$

oder $EA = \dfrac{\frac{3}{4} NC \cdot l}{h - h_1}$

Nun können wir nach Konstruktion da $NE = EM$, auch die ganze Stauweite

$$MH = 2 EA$$

setzen, woraus sich ergiebt

$$MH = \frac{3}{2} \cdot NC \cdot \frac{l}{h - h_1} \qquad (V.)$$

Um $\frac{h}{l}$ und $\frac{h_1}{l}$ zu bestimmen, muß man allerdings Gerinne von konstantem Querschnitte voraussetzen, — oder für die Dimensionen des Querschnittes wenigstens Durchschnittswerthe annehmen. —

Wenn man berücksichtigt, daß bei der vorigen Herleitung $EF = \frac{1}{4} NC$ gesetzt werden, während es unstreitig etwas größer ist und in den Ganzen $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ NC liegen wird, so kann man wohl auch in der Gleichung V. den Ausdruck h_1 weglassen, und erhält dann die Annäherungsformel

$$MH = \frac{3}{2} NC \cdot \frac{l}{h} \qquad (VI.)$$

und es wird die wirkliche Stauweite zwischen den aus V und VI erhaltenen Werthen liegen. —

Sechstes Kapitel.

Berechnung der Wasserräder.

---

§. 74.

Allgemeine Formel für die Leistung der Wasserräder.

Wir haben bereits in §. 1 und 2 die Formel für das absolute Arbeitsmoment L_a des Aufschlagwassers in Fußpfunden oder N_a in Pferdestärken angegeben, abhängig von Q und H; ebenso den Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{N_n}{N_a}$$

besprochen, welchen ein hydraulischer Motor haben kann, da selbst bei der besten Anlage ein Verlust stattfindet, also die Nutzleistung N_n kleiner ist als N_a. —

Wir haben ferner in §. 26 — 32, welche die Beschreibung der Wasserräder enthalten, bei den einzelnen Konstruktionen die durch Erfahrung festgestellten günstigsten Radverhältnisse, Schaufelstellung 2c. kennen gelernt, und den Nutzeffekt angegeben, welchen man nach Versuchen an ausgeführten Rädern mit dem Bremsdynamometer wirklich erhalten hat. —

Es bleibt uns jedoch noch übrig, in die Berechnung der Wirkung des Aufschlagwassers auf die Wasserräder etwas näher einzugehen. —

Ganz allgemein genommen, welche Konstruktion das Rad auch sonst haben möge, wird jedesmal das Wasser mit einer bestimmten Geschwindigkeit gegen die Schaufeln des Rades treffen, also zuerst eine Stoßwirkung erfolgen, und das Rad dadurch in Umdrehung gesetzt werden; wir wollen diese Wirkung einstweilen mit S bezeichnen. — Hierauf wird das Wasser eine längere oder kürzere Zeit im Radkranze zurückbleiben, und durch sein Gewicht eine Druckwirkung D ausüben, welche die Umdrehung des Rades befördert, bis das Wasser zuletzt wieder das Rad verläßt, meistens früher, bevor es den tiefsten Punkt erreicht hat —

Es wird jedoch neben dem Wasserquantum, welches zur Wirkung kommt, noch ein Verlust W stattfinden durch denjenigen Theil des Wassers, welcher bei dem unvermeidlichen Spielraum zwischen Rad und Gerinne nothwendigerweise verloren gehen wird. — Es wird ferner bei sehr vielen Rädern ein Verlust herbeigeführt werden durch die Reibung F_w des Rades im Wasser während seiner Umdrehungen; es wird ebenso ein Widerstand der Luft gegen das sich umdrehende Rad, insbesondere gegen die Schaufeln stattfinden, welcher mit F_l bezeichnet werden möge. — Schließlich ist auch noch derjenige Verlust anzuführen, der entsteht durch die Reibung der Wasserradzapfen in ihren Lagern, hervorgerufen durch das Gewicht des ganzen Rades, welches sich wieder zusammensetzt aus dem Eigengewicht und dem Gewicht des in den Zellen befindlichen Wassers, und wir wollen diese Reibung durch F_z bezeichnen. — Es wird sich also die Leistung eines Wasserrades im Allgemeinen ausdrücken durch die Summe

$$(S + D - W - F_w - F_l - F_z)$$

und es wären nun die einzelnen Glieder dieser Summe (deren Werthe je nach der verschiedenen Radkonstruktion variabel sein werden) bei den einzelnen Rädern näher zu bestimmen, so weit dies zu praktisch brauchbaren Resultaten führt; diejenigen Glieder dagegen, welche an sich unbedeutend sind, oder nur zu Annäherungsformeln, auch wohl zu Formeln führen, die für den praktischen Gebrauch zu komplicirt sind, sind am besten durch einen Erfahrungskoefficienten zu ersetzen, den man innerhalb gewisser Grenzen ohnedies auch bei der genauesten Berechnung nicht ganz entbehren kann. —

Wir wollen nochmals an §. 2 erinnern und wiederholen, daß die Feststellung der Nutzleistung L_n eines hydraulischen Motors immer nur durch das Dynamometer genau zu ermitteln ist. —

Die in den nachfolgenden Paragraphen durch Rechnung bestimmte Leistung der Wasserräder wollen wir die hydraulische Leistung nennen und mit L_1 bezeichnen. —

§. 75.

Berechnung der oberschlägigen Räder.

In den **oberschlägigen** Rädern übt das Wasser bei seinem Eintritt einen Stoß aus, die durch denselben hervorgebrachte Wirkung S ist aber von untergeordneter Bedeutung, und dies um so mehr, je besser das Rad konstruirt ist; die Hauptleistung liegt in der durch das Gewicht des Wassers hervorgebrachten Druckwirkung D. —

I.

Die Wirkung durch den Stoß finden wir, wenn von der ganzen Wirkung, welche der lebendigen Kraft des eintretenden Wassers entspricht, abgezogen wird die Arbeit, welche es noch behält, wenn es das Rad wieder verläßt, und ferner die Arbeit, welche es beim Eintritt in die Zellen verliert. —

Wenn daher **Fig. 5, Taf. XXI**, v die absolute Eintrittsgeschwindigkeit des an der äußern Peripherie des Rades ankommenden Wassers ist, c die äußere Peripherie- oder Umfangsgeschwindigkeit des Rades, also auch diejenige Geschwindigkeit, welche das Wasser behält, indem es mit der Zelle fortgeht, und wenn es zuletzt das Rad verläßt, u die relative Eintrittsgeschwindigkeit, also diejenige, welche das Wasser beim Eintritt verliert, so ergiebt sich die ganze Stoßwirkung

$$S = \frac{Q\,\gamma}{2\,g}\,(v^2 - c^2 - u^2) \qquad (1.)$$

Bezeichnen wir den Winkel, welchen die beiden Richtungen v und c bilden, mit α, so ergiebt sich

$$u = \sqrt{v^2 + c^2 - 2\,v\,c \cdot \operatorname{Cos} \alpha},$$

es ist also die Stoßwirkung gleich

$$\frac{Q\,\gamma}{2\,g}\,[v^2 - c^2 - (v^2 + c^2 - 2\,v \cdot c \cdot \operatorname{Cos} \alpha)],$$

woraus sich nach einer einfachen Reduktion

$$\frac{Q\,\gamma}{g}\,(v \cdot \operatorname{Cos} \alpha - c)\,c \qquad (2.)$$

ergiebt. —

Nun wirkt aber das Wasser nicht an der äußern Peripherie vom Halbmesser R, sondern wir müssen uns dasselbe an einem Theilrißhalbmesser R_o angreifend denken, welcher von der Form der Schaufel und der Kranzbreite abhängig ist, also haben wir den erhaltenen Werth noch zu multipliciren mit $\frac{R_o}{R}$ und wir erhalten

$$S = \frac{Q\,\gamma}{g} \cdot \frac{R_o}{R}\,(v \cdot \operatorname{Cos} \alpha - c)\,c \qquad (3.)$$

Denken wir uns den Werth $v \cdot \operatorname{Cos} \alpha = c$ oder $v = \frac{c}{\operatorname{Cos} \alpha}$, so würden wir von der Stoßwirkung gar keine Leistung erhalten, indem

das Wasser nur so schnell eintritt, als das Rad umgeht und es wird in diesem Falle zur Erzeugung der Geschwindigkeit v das Gefälle $\frac{v^2}{2\,g} = \frac{c^2}{2\,g \cdot (\text{Cos}\,\alpha)^2} = h_0$ verwendet. — In der Regel aber läßt man aus andern Gründen die Stoßwirkung der Leistung des Rades zu Gute kommen, so daß man also

$$v \cdot \text{Cos}\,\alpha > c$$

annimmt, wobei man jedoch, weil das Wasser durch Stoß eine kleinere Wirkung giebt als durch Druck, v nicht etwa beliebig groß nimmt, sondern als äußerste Grenze $v = 2\,c$ setzt und c nicht über 5 Fuß pro Sekunde genommen wird. —

Alsdann ergiebt sich das zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit erforderliche Gefälle, also die Höhe h_1 vom Oberwasserspiegel bis zum Punkte, wo der Wasserstrahl die Peripherie des Rades trifft,

$$h_1 = \frac{v^2}{2\,g}.$$

Wenn man sich nun eine vertikale Linie denkt, durch den Mittelpunkt des Rades bis zum Oberwasserspiegel, und aus praktischen Gründen den Winkel φ, Fig. 5, Taf. XXI, oder die Entfernung des Wassereintritts vom Scheitelpunkt des Rades zu etwa 15 Grad annimmt, so ergiebt sich aus obigem h_1 und φ am besten durch direktes Aufzeichnen der äußere Halbmesser R des Rades. — Je näher nämlich der Eintritt des Wassers dem Scheitel liegt, desto geringer ist anfänglich die drehende Wirkung dagegen, desto stärker ist der vertikale Druck des Wassers auf die Zapfen, also die Zapfenreibung. —

Ferner ergiebt die obige Formel, daß das Moment des aus der relativen Eintrittsgeschwindigkeit u erwachsenden Wasserstoßes bei gegebenem oder angenommenem c um so größer ausfällt, nicht blos je größer v, sondern auch je kleiner α ist. — Wir haben bereits als Grenze $v = 2\,c$ gesetzt, und damit der Bogen E F eine mäßige Größe habe und der Eintrittswinkel für alle Punkte desselben nahe gleich sei, darf auch α wieder nicht zu klein genommen werden, in der Regel etwa 10 Grad. — Damit ferner das Wasser ungehindert eintritt und nicht verspritzt wird, läßt man es nicht gleich am äußern Umfange an die Schaufeln stoßen, sondern es müssen die äußern Schaufelelemente in der Richtung der relativen Eintrittsgeschwindigkeit u aus laufen. —

Wenn nun Q die Wassermenge pro Sekunde, so ergiebt sich aus dem Quotienten $\frac{Q}{v}$ der Querschnitt des einfallenden Wasserstrahles, also wenn b_1 seine Breite, so ist die Dicke $d = \frac{Q}{b_1\,v}$, mithin der Bogen

$$E\,F = \frac{d}{\text{Sin}\,\alpha} = \frac{Q}{b_1 \cdot v \cdot \text{Sin}\,\alpha}.$$

Damit die Luft besser entweichen kann und auch wegen der Stärke der Schaufeln, nimmt man die Entfernung e zweier Schaufeln, also

die Schaufeltheilung etwas größer als diese berechnete Strahldicke, gewöhnlich

$$e = EF + 1 \text{ bis } 2 \text{ Zoll},$$

ebenso wie man die Breite b des Rades etwas größer nimmt, als die Strahlbreite b_1.

II.

Bei den oberschlägigen oder Zellenrädern kennt man also den Punkt, in welchem das Wasser eintritt, man bestimmt ihn nach den vorstehend gegebenen Regeln. — Bei der Umdrehung des Rades bilden die gefüllten Zellen einen ringförmigen Wasserraum, den man auch den Wasser haltenden Bogen nennt. — Man erkennt jedoch nicht ohne weiteres den Punkt, von welchem an das Wasser aus dem Rade wieder abfließt, weil dieser mit der Menge des zufließenden Wassers und der Geschwindigkeit des Rades sich ändert, man muß also den Punkt, wo der wasserhaltende Bogen aufhört, und der Ausgußbogen beginnt, erst durch Rechnung feststellen. —

Um zu diesem Resultate zu gelangen, berechnen wir *) zuerst das Wasservolumen, welches von jeder Zelle aufgenommen wird, dann bestimmen wir den Querschnitt des in der Zelle enthaltenen Wasservolumens, wobei wir uns die Zelle mit der obern Kante in horizontaler Lage denken, und suchen darauf, da die Zelle bei der Drehung des Rades sich allmälig neigt, diejenigen Linien, in denen der Ausguß beginnt und endigt. — Hieraus bestimmen wir dann die mittlere Ausgußlinie, d. h. diejenige Linie, bis zu welcher man sich das ganze Wasservolumen wirkend denken kann, und in welcher der Ausguß des gesammten Wassers als mit einem Male beendigt anzusehen ist. —

Nennt man c (wie vorher) die Geschwindigkeit des Rades pro Sekunde am äußern Umfange gemessen, e den Bogentheil oder die Schaufeltheilung, alsdann ist $\frac{c}{e} = i$ die Zahl der in einer Sekunde unter der Schütze vorbeigehenden Schaufeln. — Drückt also Q die Wassermenge pro Sekunde aus, so ist $\frac{Q}{i}$ oder $\frac{Q\,e}{c}$ das von jeder Zelle aufgenommene Wasserquantum, und dividirt man dies noch durch die Breite b des Rades, so hat man den Querschnitt des in einer Zelle enthaltenen Wasservolumens

$$s = \frac{Q\,e}{c \cdot b}.$$

Der Querschnitt einer Zelle ist in **Fig. 10, Taf. XXII,** mit a b c d bezeichnet, c d = a die Breite an der Eintrittsstelle, a b = a_1 die Breite am Boden der Zelle, a d = l die Tiefe der Radzelle am innern Umfange gemessen. — Nennt man ferner noch y die Wassertiefe in der Zelle in dem Augenblicke, wo die Seite c d horizontal

*) Die Theorie der Wasserräder von de Pambour, im polytechn. Centralblatt 1866. —

steht, und x die entsprechende Linie m n des Wasserspiegels, so ist zunächst

$$s = y \left(\frac{x + a_1}{2}\right) \qquad (4.)$$

Die Linie m n = x kann man sich aus 2 Theilen zusammengesetzt denken, nämlich m r + r n. — Es ist aber $m\,r = a_1$ und es verhält sich

$$r\,n : p\,c = y : p\,b \text{ oder}$$
$$r\,n : (a - a_1) = y : l,$$

$$\text{also } r\,n = \frac{a - a_1}{l} \cdot y$$

$$\text{also } x = a_1 + \frac{a - a_1}{l} \cdot y \qquad (5.)$$

Aus (4.) und (5.) kann man x und y ableiten. —

Wir bestimmen nun die Linie, in welcher während der weitern Umdrehung des Rades das Ausgießen des Wassers beginnt. Diese Linie, welche nothwendig durch den äußern Rand c der Zelle gehen muß, sei c f und schneide den Wasserspiegel der horizontalen Zelle in k und es werde m k durch z bezeichnet. — Da beim Beginn des Ausgießens noch dasselbe Wasserquantum in der Zelle ist, wie es für die horizontale Lage derselben berechnet wurde, so müssen die beiden Dreiecke m k f und k c n einander gleich sein, daher hat man

$$k\,n \cdot c\,c_1 = m\,k \cdot m\,f \text{ oder}$$
$$(x - z)\,(l - y) = z \cdot m\,f.$$

Da ferner die Dreiecke m k f und $k\,c\,c_1$ einander ähnlich sind, so verhält sich

$$m\,f : m\,k = c\,c_1 : k\,c_1 \text{ oder}$$
$$m\,f : z = (l - y) : (a - z) \text{ oder}$$
$$m\,f = \frac{(l - y)\,z}{(a - z)}$$

und setzt man dies in die vorige Gleichung, so entsteht

$$(x - z)\,(l - y) = z \cdot \frac{(l - y)\,z}{(a - z)}$$
$$(x - z)\,(a - z) = z^2,$$

$$\text{woraus sich ergiebt } z = \frac{a\,x}{a + x} \qquad (6.)$$

Aus der Figur ersieht man ferner, daß der Schwerpunkt des in der horizontalen Zelle enthaltenen Wasservolumens nahezu in der Mitte der Linie t s liegt, so daß $t\,o = \frac{1}{2}\,t\,s$ oder

$$t\,o = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{x + a_1}{2} = \frac{x + a_1}{4}$$

annähernd genau zu setzen ist. —

Durch diesen Schwerpunkt denken wir uns den Theilriß des Rades gelegt, dessen Halbmesser wieder mit R_0 bezeichnet werde, während

der äußere R ist, also folgt aus der Figur, wenn der Halbmesser und die Oberkante c d der Zelle horizontal gedacht werden,

$$R_0 = R - a + \frac{x + a_1}{4}$$

oder
$$\frac{R_0}{R} = \frac{R - a + \frac{x + a_1}{4}}{R} \qquad (7.)$$

Ebenso wie nun das Ausgießen des Wassers beginnt, wenn die Linie c f horizontal ist, so ist dasselbe beendigt, wenn bei noch weiterer Drehung des Rades die Schaufelfläche c b horizontal geworden ist. Bezeichnen wir nun den Winkel f c d mit β und den Winkel b c d mit δ, so erhält man

$$\left.\begin{array}{l} \text{Sin } \beta = \frac{g\,k}{k\,c} = \frac{l - y}{k\,c} \\ \text{Cos } \beta = \frac{g\,c}{k\,c} = \frac{a - z}{k\,c} \end{array}\right\} \text{ also Tg. } \beta = \frac{l - y}{a - z}$$

Ferner
$$\left.\begin{array}{l} \text{Sin } \delta = \frac{l}{b\,c} \\ \text{Cos } \delta = \frac{a - a_1}{b\,c} \end{array}\right\} \text{ Tg. } \delta = \frac{l}{a - a_1}$$

woraus dann der Durchschnittswinkel $\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)$ zu berechnen ist, der auch ohne weiteres durch Aufzeichnen gefunden werden kann. —

Während sich also das Rad vom horizontalen Halbmesser ab um den Winkel β gedreht hat, ist c f horizontal geworden, **Fig. 5, Taf. XXI,** während es sich um den Winkel δ gedreht hat, ist c b horizontal geworden, die mittlere Ausgußlinie weicht also um den Winkel $\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)$ vom horizontalen Halbmesser ab, und bis an diese Linie denkt man sich das gesammte Wasservolumen durch sein Gewicht wirkend. — Derjenige Theil des Gefälles, auf welchen das Wasser durch sein Gewicht wirkt, ist also $h_2 + h_3$ oder gleich

$$h_2 + R \cdot \text{Sin}\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)$$

und da nun wieder das Wasser nicht am äußern Umfange, sondern am Theilriß vom Halbmesser R_0 angreifend gedacht werden muß, so erhält man die Gesammtleistung bewirkt durch das Gewicht

$$D = Q\,\gamma \cdot \frac{R_0}{R}\left[h_2 + R \cdot \text{Sin}\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right)\right] \qquad (8.)$$

Man kann dieses Resultat auch einfach durch Aufzeichnen im richtigen Maßstabe erhalten und es ergiebt sich die Höhe h_3, wenn man den Querschnitt durch Probiren und Ausrechnen ermittelt, wo das von der mittlern Ausgußlinie und der Zellenwand begrenzte Wasservolumen gleich ist

$$\frac{s}{2} = \frac{Q\,c}{2 \cdot c \cdot b}.$$

Will man aber die numerischen Berechnungen der Gleichungen durchführen, so müßte man zuerst y bestimmen und zu diesem Zwecke aus den Gleichungen (4.) und (5.) eliminiren, wodurch man eine quadratische Gleichung erhielte. — Dies kann man dadurch umgehen, daß man für y eine Reihe von Werthen innerhalb der angemessenen Grenzen annimmt, hierfür aus Gleichung (5.) einzelne x berechnet, und die einander entsprechenden Werthe von x und y in einer Tabelle zusammenstellt. — Dieser Tabelle können dann auch die Werthe von s beigesetzt werden, die sich aus Gleichung (2.) ergeben, sowie auch die Werthe von z und $\frac{R_0}{R}$.

III.

Bei den Zellenrädern fällt der Verlust W weg, da bei guten Konstruktionen kein Wasser neben dem Rade verloren gehen darf, auch legt man dieselben so an, daß sie unter normalen Verhältnissen nicht im Unterwasser sich drehen („waten"), es fällt also auch in der allgemeinen Gleichung das Glied F_w weg, und auch der Luftwiderstand F_1 kann vernachlässigt werden, wenn c nicht über 5 Fuß pro Sekunde angenommen wird.

Es bliebe also nur noch übrig, den durch die Zapfenreibung F_z herbeigeführten Verlust näher zu bestimmen.

Setzen wir die Summme des Eigengewichts vom Wasserrade plus dem Gewicht des in den Zellen enthaltenen Wassers = G, so ist die dadurch hervorgerufene Zapfenreibung = f · G. — Wenn nun d die Zapfenstärke (der Durchmesser der Zapfen) so ist bei n Umdrehungen des Rades pro Minute die Geschwindigkeit pro Sekunde am Zapfenumfange $= \frac{\pi\,d\,n}{60}$, und daher die Arbeit der Zapfenreibung

$$f \cdot G \cdot \frac{\pi\,d \cdot n}{60} = 0{,}0524 \cdot f \cdot d \cdot G. \qquad (9.)$$

Für genau abgedrehte Zapfen auf Metalllagern mit Schmiere von Oel, Fett oder Talg wäre f = 0,05 bis 0,7 zu setzen, und bei Holzlagern f = 0,11 bis 0,14. —

Man hat auch das Gewicht eines Rades nach einzelnen Beispielen zurückgeführt auf die effektive Leistung in Pferdestärken; in eine allgemeine Formel eingesetzt, giebt dies jedoch kein genaues Resultat, denn das Verhältniß zwischen der Leistung und dem Gewicht ist nicht blos von den Dimensionen des Rades abhängig, sondern auch von dem Grade der Füllung und der Umdrehungszahl des Rades. —

Nach vielen Versuchen von Morin und Pambour wird die Zapfenreibung nicht blos im Allgemeinen proportional der Belastung genommen, sondern unmittelbar auf den Radumfang bezogen, und der Werth von $(1 + F_z)$ in den Grenzen 1,05 bis 1,19, im Mittel also = 1,12 gesetzt. —

Es ergiebt sich nun schließlich die berechnete hydraulische Leistung bei den oberschlägigen Rädern

$$L_1 = \frac{Q\gamma}{g} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{1}{1+F_z} \cdot (v \cdot \cos\alpha - c)\, c +$$

$$+ Q\gamma \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{1}{1+F_z}\left[h_2 + R \cdot \sin\left(\frac{\beta+\delta}{2}\right)\right]$$

oder

$$L_1 = \frac{1}{1{,}12} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot Q\gamma\left[\frac{(v \cdot \cos\alpha - c)\, c}{g} + h_2 + R \cdot \sin\left(\frac{\beta+\delta}{2}\right)\right]. \qquad (10.)$$

Nach dieser Formel hat Pambour die Versuche von Morin nachgerechnet und gefunden, daß die so berechnete hydraulische Leistung durchschnittlich um 1 Procent variirt, und sowohl über als unter den Versuchszahlen sich übergiebt je nach der Wassermenge und Geschwindigkeit des Rades. — Im Mittel kann man also setzen

$$L_n = L_1,$$

während $L_n = 0{,}66 - 0{,}70\ L_a$

unter L_a den bekannten Werth $Q\gamma \cdot H$ verstanden. —

IV.

So lange bei den oberschlägigen Rädern die Umfangsgeschwindigkeit c nicht über 5 Fuß pro Sekunde beträgt, ist die Wirkung der Centrifugalkraft auf das Rad als verschwindend klein anzusehen, und man kann die vorige Betrachtung als richtig gelten lassen, wo die Oberfläche des Wassers in den einzelnen Zellen horizontal angenommen wurde. — Wenn die Räder jedoch sehr schnell gehen, wie bei Hammerwerken, so wird die Centrifugalkraft die Veranlassung, daß das Wasser der Zellen früher ausgegossen wird, und zwar in dem Maße, als sich die Umfangsgeschwindigkeit steigert, und dadurch wird die Leistung vermindert. —

Die Oberflächen des Wassers in den Zellen bilden dann koncentrische Cylindermäntel, deren Axe O, **Fig. 11, Taf. XXI**, parallel mit der Radaxe läuft. — Konstruiren wir aus der Centrifugalkraft B F und der Schwerkraft B G die Mittelkraft B H, und verlängern diese bis sie sich mit der Normalen C E im Punkte O schneidet, so sind die Dreiecke B C O und B F H einander ähnlich, folglich verhält sich

$$OC : BC = FH : BF \text{ oder}$$

$$OC = \frac{FH}{BF} \cdot BC.$$

Da nun F H die Schwerkraft B G oder das Gewicht G des Rades ist und $BC = R_0$, ferner die Centrifugalkraft $BF = \frac{G}{g} \cdot \frac{c^2}{R_0}$ und die Umfangsgeschwindigkeit c pro Sekunde bei n Umdrehungen des Rades pro Minute sich ausdrückt durch $\frac{2\pi R_0 n}{60}$, so entsteht nach einfacher Reduktion

$$O\,C = g \cdot \left(\frac{30}{\pi\,n}\right)^2 = \frac{2850}{n^2} \qquad (11.)$$

In allen Zellen ist der Wasserspiegel geneigt, man erhält die Stelle der größten Neigung, wenn man von O eine Tangente an den Radumfang legt. — Der Effekt des Rades wäre nun wie vorher zu berechnen, mit dem Unterschiede, daß die Ausgußlinie c f nicht horizontal ist, sondern den um O beschriebenen Bogen A B D bildet. —

Theoretisch geht nun allerdings aus diesen Betrachtungen hervor, daß die Leistung des Wasserrades um so größer, je kleiner c, jedoch findet dies seine Grenze, denn je kleiner c, desto größer wird nicht blos das Gewicht des Rades und also die Zapfenreibung, sondern es sind außerdem zur Uebertragung der Kraft an die Arbeitsmaschinen mehr Transmissionseinrichtungen erforderlich, wodurch wieder ein Arbeitsverlust stattfindet. —

V.

Die rückenschlägigen Räder sind in Bezug auf Berechnung den oberschlägigen gleich zu setzen. man nimmt c ebenfalls nicht über 5 Fuß pro Sekunde und $v = 2\,c$. — Da jedoch diese Räder wegen der bessern Wassereinführung Leitkurven erhalten so rechnet man zur Erzeugung der Eintrittsgeschwindigkeit v das Gefälle

$$h_1 = 1{,}1 \cdot \frac{v^2}{2\,g}.$$

Einen besonders günstigen Effekt wird das Rad mit innerer Beaufschlagung geben, **Fig. 1, Taf. VII**, weil der kleine Winkel, welchen die Schaufelelemente mit der äußern Peripherie bilden, ein spätes Ausgießen bewirkt, so daß nahezu gesetzt werden kann

$$h_2 + R \cdot \text{Sin}\left(\frac{\beta + \delta}{2}\right) = h_2 + R.$$

§. 76.

Berechnung der unterschlägigen Räder.

Bei den unterschlägigen Rädern im geraden Gerinne wird die Bewegung lediglich durch den Stoß des Wassers hervorgebracht. — Wenn das Wasser zugelassen wird, nimmt das Rad eine sehr geringe Geschwindigkeit an, die allmälig wächst, bis die größte Geschwindigkeit erreicht ist, und überhaupt bis Kraft und Last einander das Gleichgewicht halten. —

I.

Das Wasserquantum Q komme mit der Geschwindigkeit v vor dem Rade an, dieselbe wird durch den Stoß gegen die Schaufeln in die Geschwindigkeit c verändert, welches die Geschwindigkeit des äußern Radumfanges ist; damit ist ein Arbeitsverlust verbunden, der sich ausdrückt durch

$$\frac{(v-c)^2}{2g} \cdot Q\gamma$$

Die Arbeit, welche der vom Gefälle H abhängigen Geschwindigkeit v entspricht, **Fig. 7, Taf. XXI**, wäre

$$\frac{v^2}{2g} \cdot Q\gamma$$

und die Arbeit, welche der Geschwindigkeit c entspricht, mit welcher das Wasser und der äußere Radumfang fortgehen, ist

$$\frac{c^2}{2g}\,Q\gamma.$$

Hiernach würde sich die gesammte Leistung ausdrücken durch die Formel

$$\frac{Q\gamma}{2g}\,[v^2 - (v-c)^2 - c^2] = \frac{Q\gamma}{g}\,(v-c)\,c. \qquad (1.)$$

Der Druck des Aufschlagwassers findet in Wirklichkeit jedoch nicht am äußern Radumfange vom Halbmesser R statt, sondern der Punkt, in welchem man sich die Wirkung des Wasserstromes vereinigt denken kann, liegt in der Mitte des eingetauchten Schaufeltheiles, sein Halbmesser sei R_0 und derselbe ist auch nicht konstant, sondern variirt mit der Wassermenge. — Es wird also die vorhergehende Gleichung übergehen in

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{Q\gamma}{g} \cdot (v-c)\,c \qquad (2.)$$

Nun ist ferner zwischen Rad und Gerinne, sowohl am Boden, als an den Seitenwänden, ein Spielraum unvermeidlich, durch welchen eine gewisse Wassermenge entweicht, ohne auf die Schaufeln zu wirken. — Bezeichnet A die eingetauchte Schaufelfläche, a den Theil des Gerinnequerschnittes, durch welchen das Wasser unbenutzt geht, so wird das Verhältniß der wirksamen Wassermenge zur gesammten Aufschlagwassermenge ausgedrückt durch

$$\frac{A}{A+a}.$$

Sonach reducirt sich die gesammte Stoßwirkung S, vermindert durch den Wasserverlust W auf:

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot \frac{Q\gamma}{g} \cdot (v-c)\,c \qquad (3.)$$

und es ist auch hier zu bemerken, daß $\frac{A}{A+a}$ ebenfalls veränderlich ist wie $\frac{R_0}{R}$.

II.

Eine Druckwirkung D ist bei diesem Rade nicht vorhanden. — Der Widerstand der Luft gegen die in Bewegung befindlichen Schaufeln ist proportional der Schaufelfläche s und dem Quadrate der Geschwindigkeit c; bezeichnet man noch mit R_2 den Halbmesser des Schau-

felmittelpunktes, so kann man den Widerstand F_{lt} bezogen auf den äußern Radumfang ausdrücken durch

$$k \cdot s \cdot \left(\frac{R_2}{R}\right)^2 \cdot c^2,$$

wobei Pambour *) nach den Versuchen von Thibault für k den Werth 0,0625 Kilogramm einführt. — Die Reibung F_w des unbelasteten Rades im Wasser ist nach den Versuchen von Morin 0,07 bis 0,08 des Radgewichtes. — Damit dieselbe möglichst verringert wird, stellt man die Schaufeln nicht radial, sondern, wie schon in §. 30 angeführt, so viel schräg, daß die Schaufeln im Moment des Herausgehens aus dem Wasser annähernd vertikal stehen. —

Die Zapfenreibung F_z ist proportional der Belastung und man kann diese zusätzliche Reibung nach Pambour wieder zu 0,12 annehmen. —

Es findet aber noch ein weiterer Verlust dadurch statt, daß das Wasser im Gerinne sich anstaut, wenn es an den Schaufeln ankommt. Diese Anstauung hat darin ihren Grund, daß das Wasser mit der Geschwindigkeit v ankommt, aber mit der kleinern Geschwindigkeit c durchströmt. — Nennt man die Wassertiefe im Aufschlaggerinne t und die Höhe oder Tiefe beim Eintritt an die Schaufeln t_1, so wird sich die Höhe, um welche der Schwerpunkt des Aufschlagwassers gehoben wird, ausdrücken durch

$$\frac{t_1 - t}{2}.$$

Da aber wieder nicht das gesammte Aufschlagwasser angestaut wird, sondern nur derjenige, welcher die Schaufeln wirklich trifft, so beschränkt sich auch dieser Effektverlust auf

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A + a} \cdot Q\gamma \cdot \left(\frac{t_1 - t}{2}\right) \qquad (4.)$$

und es ergiebt sich nun ohne besondere Berücksichtigung von F_w und F_1, da man bei ihrem geringen Werthe dieselben in dem Werthe von F_z eingeschlossen denken kann, die hydraulische Leistung

$$L_1 (1 + F_z) = \frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot Q\gamma \left[\frac{(v-c)\,c}{g} - \left(\frac{t_1 - t}{2}\right)\right]$$

oder

$$L_1 = \frac{1}{1{,}12} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot Q\gamma \left[\frac{(v-c)\,c}{g} - \left(\frac{t_1 - t}{2}\right)\right]. \qquad (5.)$$

III.

Es wird sich nun noch um die nähere Bestimmung des Ausdrucks $\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a}$ handeln.

Dividirt man das Volumen Q durch die Geschwindigkeit c, so erhält man den Querschnitt des Wasserstrahles, und dividirt man diesen wieder durch die Breite b_1 des Gerinnes, so ergiebt sich die Wasserhöhe innerhalb der Schaufeln

*) Theorie der Wasserräder, im Polytechn. Centralblatt 1865.

$$t_1 = \frac{Q}{c \cdot b_1}$$

Zieht man hiervon den Spielraum t_{11} zwischen Rad und Gerinneboden ab, so bleibt die Höhe der Schaufeleintauchung i übrig, also

$$i = t_1 - t_{11} = \frac{Q}{c\, b_1} - t_{11}$$

die mit der Schaufel- oder Radbreite b multiplicirt, die Fläche A der eingetauchten Schaufel giebt

$$A = i\, b = \left(\frac{Q}{c\, b_1} - t_{11}\right) b$$

Der unbenutzte Gerinnequerschnitt a besteht 1) aus den zu beiden Seiten des Rades befindlichen Zwischenräumen, welche $= 2\, t_{11}\, i$ sind, wenn der Spielraum an einer Seite wieder t_{11} und die Schaufeltauchung i ist. — 2) aus dem veränderlichen Wasserquerschnitt unterhalb der Schaufeln, er ist am kleinsten in dem Moment, wo eine Schaufel in der vertikalen Lage steht, und seine Höhe ist dann gleich t_{11}; er ist am größten, wenn jede von 2 benachbarten Schaufeln unter gleichem Winkel ψ gegen die durch die Axe gelegte vertikale Ebene sich befinden, wie Fig. 7, Taf. XXI zeigt, seine Höhe beträgt dann $t_{11} + R\,(1 - \operatorname{Cos} \psi)$. — Der mittlere Werth der Höhe wird also erhalten durch das arithmetische Mittel

$$\frac{t_{11} + t_{11} + R \cdot (1 - \operatorname{Cos} \psi)}{2} = t_{11} + \frac{R}{2}\,(1 - \operatorname{Cos} \psi)$$

folglich der mittlere verloren gehende Wasserquerschnitt unter den Schaufeln

$$\left[t_{11} + \frac{R}{2}\,(1 - \operatorname{Cos} \psi)\right] b_1$$

und folglich

$$a = 2\, t_{11}\, i + \left[t_{11} + \frac{R}{2}\,(1 - \operatorname{Cos})\right] b_1$$

Der Halbmesser R_0 ist schließlich noch

$$R_0 = R - \frac{i}{2}$$

und die Wassertiefe im Aufschlaggerinne vor dem Rade

$$t = \frac{Q}{v \cdot b_1}$$

Hiernach kann man die numerische Berechnung der hydraulischen Leistung L_1 eines unterschlägigen Wasserrades ausführen. Nach Pambour hat sich ergeben, daß die wirkliche Nutzleistung

$$L_n = 0{,}956\ L_1$$

ist, während das absolute Moment $La = Q\gamma \cdot H$ und die Nutzleistung L_n in der Regel nicht über $0{,}25 - 0{,}30\ L_a$ beträgt. —

Wenn man in Gleichung (1.)

$$\frac{Q\,\gamma}{g} \cdot (v - c)\, c$$

c = o oder c = v setzt, so wird die Leistung = o, die vortheilhafteste Geschwindigkeit ist $c = \frac{1}{2}$ v, daher die Maximalleistung

$$\frac{Q\,\gamma}{g} \cdot \frac{1}{4}\,v^2 = \frac{1}{2}\,Q\,\gamma \cdot H$$

d. h im günstigsten Falle, wenn keine Nebenhindernisse und Verluste wären, könnten unterschlägige Räder die Hälfte des absoluten Arbeitsmomentes des Wassers nutzbar machen, was jedoch praktisch nicht erreichbar.

IV.

Bei den Kropfrädern wirkt nach dem Stoße noch das Gewicht des Wassers während des Gefälles h_2 vom Einfallspunkte des Wassers in das Rad bis zum Unterwasserspiegel, **Fig. 6, Taf. XXI.** Man muß daher die Stoßleistung wie vorher berechnen, und hierzu die Druckleistung fügen; dabei ist noch Folgendes zu berücksichtigen. Zunächst hat man, da das gerade Gerinne durch ein Kropfgerinne ersetzt ist, unterhalb des Rades keine andere Verlustquelle, als den Spielraum des Rades, und der Neigungswinkel zwischen den benachbarten Schaufeln ist nicht mehr in Rechnung zu stellen. Ferner bringt die auch bei diesen Rädern vorhandene Austauung des Wassers bei seiner Wirkung auf die Schaufeln keinen Effektivverlust hervor, weil um ebenso viel, als das Wasser angestaut wird, das Druckgefälle wächst. — Um den Verlust durch den Spielraum zwischen Rad und Kropf zu berechnen, nennen wir wieder A die eingetauchte Schaufelfläche und a den verlornen Wasserquerschnitt, dann wird wie bei dem vorigen Rade das Verhältniß des wirkenden Wassers zum gesammten Aufschlagwasser $\frac{A}{A + a}$. Der Quotient $\frac{Q}{c \cdot b_1} = t_1$ giebt eben die Höhe des Wassers im Kropfe bei seinem Durchgange durch das Rad, ebenso erhält man mit Beibehaltung der vorigen Bezeichnungen $i = t_1 - t_{11}$ und

$$A = i\,b = \left(\frac{Q}{c \cdot b_1} - t_{11}\right) b$$

sowie $a = t_{11}\,b_1 + 2\,t_{11}\,i = (b_1 + 2\,i)\,t_{11}$

sowie $R_0 = R - \frac{i}{2}$

woraus sich der Ausdruck

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A + a}$$

bestimmen läßt. —

Wenn man bei diesen Rädern, wie in der **Fig. 6, Taf. XXI,** dem Kropfe am tiefsten Punkte noch einen Absatz giebt, so daß der Unterwasserspiegel mit dem tiefsten Punkte des Kropfes zusammenfällt, so rechnet man gewöhnlich die Druckgefällhöhe h_2 von der Mitte des ankommenden Wasserstrahles bis zum tiefsten Punkte des Kropfes. In die Rechnung müßte man aber streng genommen die Niveaudifferenz von der Mitte des ankommenden bis zur Mitte des abgehenden Wasserstrahles einführen oder eine Korrektion wie die folgende.

Die während des Gefälles h_2 verrichtete Arbeit des Wassers würde sein $Q\gamma \cdot h_2$; ist die Dicke des abgehenden Strahles t_2 und seine Geschwindigkeit c_2 so ist wie vorher

$$t_2 = \frac{Q}{c_2\ b_1}$$

und der Arbeitsverlust, der dadurch entspringt für die halbe Dicke des Strahles, ist

$$Q\gamma \cdot \frac{t_2}{2}$$

also die wirklich geleistete Arbeit

$$Q\gamma \left(h_2 - \frac{t_2}{2}\right)$$

und es ist auch dieser Verlust zu reduciren auf

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot Q\gamma \left(h_2 - \frac{t_2}{2}\right) \qquad (6.)$$

Der Hauptunterschied zwischen der Wirkung des Wassers im Kropfrade gegenüber dem Rade im geraden Gerinne besteht noch darin, daß wir hier bei den Kropfrädern den Wasserstrahl nicht normal gegen die Schaufelrichtung nehmen können; und wenn in **Fig. 6, Taf. XXI**, α der Winkel ist, welcher die Normale zur Schaufelfläche mit dem einfallenden Wasserstrahl bildet, so haben wir nicht v, sondern v. Cos α einzusetzen, und es ergiebt sich ohne weiteres die Stoßwirkung in

$$\frac{Q\gamma}{g} (v \cdot \operatorname{Cos} \alpha - c)\, c$$

welche Gleichung wieder zu reduciren ist auf:

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot \frac{Q\gamma}{g} (v \cdot \operatorname{Cos} \alpha - c)\, c \qquad (7.)$$

und wir erhalten die gesammte hydraulische Leistung mit Rücksicht auf die zusätzliche Reibung

$$L_1 = \frac{1}{1{,}12} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot Q\gamma \left[\frac{(v \cdot \operatorname{Cos} \alpha - c)\, c}{g} + h_2 - \frac{t_2}{2}\right] \qquad (8.)$$

Pambours Berechnungen nach dieser Formel geben ebenfalls annähernd dasselbe Resultat wie die direkten Versuche, also läßt sich im Mittel wieder setzen

$$L_n = L_1$$

während $\quad L_n = 0{,}40$ bis $0{,}55\ L_a$

je nach der Höhe des Gefälles. (Vergl. §. 28.)

V.

Man nimmt bei den Kropfrädern gewöhnlich c nicht unter 5 bis 6 Fuß pro Sekunde und $v = 2c$., oder die Zahl der Umdrehungen pro Minute $n = \frac{c \cdot 60}{2\pi R}$. Aus Rücksicht für die Reibung in der Schützöffnung nimmt man

$$h_1 = 1{,}1 \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Die Füllung des Rades wird nicht unter $\frac{2}{3}$ festgesetzt, da hier keineswegs eine geringe Füllung einen höhern Effekt bedingt, wie schon in §. 28 ausgeführt wurde; man hat also

$$a\,b\,c = 1{,}5\ Q.$$

Dagegen nimmt man zur möglichsten Vermeidung des Wasserverlustes die Breite b_{11} der Schützöffnung bis 1 Fuß schmäler als b (die Breite des Rades), und es ergiebt sich daraus die Stärke des einfallenden Strahles

$$d = \frac{Q}{v \cdot b_{11}}$$

Die Konstruktion des Parabelbogens vom Wasserstrahl und die Abrundung des Gerinnebodens an der Schütze wird in folgender Weise ausgeführt. Man zeichnet das Gefälle H auf, sowie den Durchmesser D des Rades = 2 bis 4 H, und nimmt den Theilriß des Kranzes auf $\frac{1}{2}$ oder $\frac{2}{3}$ der Radtiefe an, wenn man ihn nicht erst berechnen will. — Die Annahme der Geschwindigkeit c, sowie v = 2 c ergiebt das Gefälle h_1 was wieder aufgezeichnet, wodurch man den Punkt erhalt, wo der mittlere Wasserstrahl die Schaufel im Theilriß trifft, **Fig. 6, Taf. XXI**, und dadurch erhält man den Centralwinkel α_1. — Läßt man die Richtung des einfallenden Wasserstrahles unter einem Winkel α (gewöhnlich 20°) von der Normalen zur Schaufelfläche abweichen, so erhält man nach **Fig. 6**

$$\alpha_{11} = \alpha_1 - \alpha$$

und diesen Winkel α_{11} benutzt man zur Berechnung der Koordinaten des Parabelbogens; es ist zunächst

$$\text{die vertikale } x = \frac{v^2\,(\text{Cos}\,\beta)^2}{2\,g}$$

$$\text{die horizontale } y = \frac{v^2\ \text{Sin}\,2\,\beta}{2\,g}$$

und da $\beta + \alpha_{11}$ = ein rechter Winkel, so ist

$$(\text{Cos}\,\beta)^2 = (\text{Sin}\,\alpha_{11})^2, \text{ ferner}$$

$$\text{Sin}\,2\,\beta = 2\,\text{Sin}\,\beta\,.\,\text{Cos}\,\beta = 2\,\text{Cos}\,\alpha_{11}\ \text{Sin}\,\alpha_{11} = \text{Sin}\,2\,\alpha_{11}$$

$$\text{also } x = \frac{v^2 \cdot (\text{Sin}\,\alpha_{11})^2}{2\,g}$$

$$y = \frac{v^2 \cdot (\text{Sin}\,2\,\alpha_{11})}{2\,g}$$

Mit dieser so erhaltenen Parabel der Strahlaxe sind die Begrenzungslinien parallel zu ziehen, oben und unten in der Entfernung $\frac{d}{2}$ von der Axe. —

VI.

Die Ponceleträder sind unterschlägige Räder, die aber vermöge ihrer eigenthümlichen Schaufelkurven einen viel höhern Effekt geben, als gewöhnliche unterschlägige Räder.

Es sei **Fig. 12, Taf. XXII** ein solches Rad und die Schaufeln so gestellt, daß in der untersten Stellung das äußerste Schaufelelement

möglichst dem bogenförmigen Gerinneboden parallel, das innerste Element annähernd vertikal ist. — Im ruhenden Zustande des Rades bewege sich ein Wasserfaden in dem Gerinne gegen diese Schaufel mit der vom Gefälle H abhängigen Geschwindigkeit v, so wird derselbe ohne Stoß auf der krummen Schaufelfläche so lange hinaufsteigen, bis er seine Geschwindigkeit gänzlich verloren hat, wozu die vertikale Höhe $h = \frac{v^2}{2g}$ erforderlich; dann geht derselbe an der Schaufelfläche wieder zurück und erlangt beim Austritt wieder die ursprüngliche Geschwindigkeit v. — Weicht nun aber das Rad mit der Geschwindigkeit c aus, so wird der Wasserfaden im Augenblick des Eintrittes die relative Geschwindigkeit v — c erhalten, und sich längs der Schaufel auf die vertikale Höhe $h_1 = \frac{(v - c)^2}{2\,g}$ erheben, von da wieder an der Schaufel zurückgehen und das Rad mit der relativen Geschwindigkeit (v — c) verlassen. — Die Richtung dieser letztern ist aber entgegengesetzt der Radgeschwindigkeit c, so daß die absolute Geschwindigkeit des austretenden Wassers $(v - c) - c = v - 2\,c$ ist, die gleich Null sein würde, wenn man wie bei den vorhergehenden Rädern im Allgemeinen $v = 2\,c$ annehmen will, und es würde dies der günstigsten Leistung entsprechen. —

Die Leistung des zur Wirkung kommenden Aufschlagwassers am äußern Umfange wird sein:

$$Q\,\gamma \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Hiervon ist noch abzuziehen die Leistung, welche verloren geht durch die absolute Austrittsgeschwindigkeit (v — 2 c). Diese ist

$$Q\,\gamma \cdot \frac{(v - 2\,c)^2}{2\,g}$$

und folglich erhält man die Leistung

$$\frac{Q\,\gamma}{2\,g}\left[v^2 - (v - 2\,c)^2\right] \text{ oder}$$

$$\frac{2\,Q\,\gamma}{g}\,(v - c) \cdot c \qquad (9.)$$

Den Halbmesser, an dem man sich das Wasser angreifend zu denken hat, findet man aus der Höhe

$$h_1 = \frac{(v - c)^2}{2\,g}$$

um welche das Wasser an der Schaufel in die Höhe steigt, und dann wieder bis an den äußersten Rand derselben zurückfällt. Die mittlere Höhe des Wassers bei seiner Wirkung ist folglich $\frac{h_1}{2}$ und hiernach mit Benutzung der bekannten Bezeichnungen

$$R_{,,} = R - \frac{h_1}{2} = R - \frac{(v - c)^2}{4\,g}$$

und es ist die Gleichung (9.) wieder zu reduciren auf

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot \frac{2\,Q\,\gamma}{g} \cdot (v - c)\,c \qquad (10.)$$

Diese Leistung wird noch dadurch erhöht, daß der Schwerpunkt des Wassers im Augenblicke, wo dasselbe ins Rad tritt, sich in einer bestimmten Höhe über dem Gerinneboden befindet, beim Austritt aber bis an den untern Rand der Schaufel sich senkt. — Ist t_1 die Wassertiefe vor dem Rade, b_1 die Breite des Gerinnes, t_{11} der Spielraum zwischen Rad und Gerinne so ist

$$t = \frac{Q}{b_1\,v}$$

und die Fallhöhe des Schwerpunktes $= \frac{t_1 - t_{11}}{2}$, daher die entsprechende Leistung

$$\frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot \left(\frac{t_1 - t_{11}}{2}\right)$$

welche noch zur Gleichung (10.) zu addirt ist. — Wenn man außerdem noch wie früher die zusätzliche Reibung mit demselben Werthe einführt, so erhält man die hydraulische Leistung

$$L_1 = \frac{1}{1{,}12} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{A}{A+a} \cdot Q\gamma\left[\frac{2\cdot(v - c)\,c}{g} + \left(\frac{t_1 - t_{11}}{2}\right)\right]. \quad (11.)$$

Die Rechnungen nach dieser Formel, welche Pambour mit den Versuchen von Poncelet und Morin verglichen hat, haben demselben ergeben, daß

$$L_n = 0{,}985\ L_1$$

während man nach den Versuchen annehmen kann, daß

$$L_n = 0{,}60\ L_a$$

unter L_a den bekannten Werth $Q\,\gamma\,.\,H$ verstanden.

Um das Gerinne und die Schaufeln eines solchen Rades zu konstruiren, nehme man zuerst Fig. 12, Taf. XXII, $R = 2\,H$, und zeichne den äußern Umfang des Rades, falle durch den Mittelpunkt O eine Senkrechte. – Den Spielraum des Gerinnes nehme man so klein als möglich, was vom Material des Rades und des Gerinnes abhängig ist. — Der mit dem Radumfange parallele Bogen des Gerinnes wird so weit aus dem Mittelpunkte des Rades beschrieben, daß $p\,z = w\,z$ und Winkel $p\,O\,w$ oder φ etwa 10 Grad wird; alsdann ziehe man im Punkte p eine Tangente zum Radius O p bis zur Schütze, die man möglichst dem Rade anlegt unter einem Winkel von 60 bis 45 Grad gegen die Horizontale, und trage die Stärke des Wasserstrahles, welche sich aus $\frac{Q}{v\,b_1}$ ergiebt $= d$ auf*) und damit eine Parallele zur Tangente p q, bis die äußere Peripherie des Rades in u geschnitten wird, und ziehe den Radius O u q, theile den Bogen p u in drei unter sich gleiche Theile und ziehe die Radien O1 und O11,

*) **Laffineur**, Roues hydrauliques.

ebenso theile man die Linien qu in drei Theile und mache nun $O1_0 = O1$, sowie $O2_0 = O2$ und zeichne den Bogen $p\ 1_0\ 2_0\ q$ des Gerinnes —

Zur Schaufelkonstruktion bestimme man zuerst die Radtiefe: Der Rechnung nach wäre

$$R - r = h_1 = \frac{(v - c)^2}{2g}$$

oder für $c = \frac{1}{2} v$

$$R - r = \frac{1}{4} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{1}{4} H$$

oder wenn $H = \frac{1}{2} R$

$$R - r = \frac{1}{8} R.$$

Man nimmt aber in der Regel $\frac{1}{4}$ R, manchmal sogar bis $\frac{1}{3}$ R. —

Man ziehe nun im Punkte z_1 unter $\alpha = 15$ bis 20 Grad gegen die Tangente eine Linie, so daß der Bogen qp und die Schaufel in der Stellung bei p als eine fortlaufende Kurve erscheinen, und auf dieser gezogenen Linie eine Normale. — Dann nehme man auf derselben einen Punkt m so an, daß wenn die Schaufel mit dem Radius z_1 m gezeichnet wird, das innerste Element der Schaufel in dieser Stellung annähernd vertikal ist, aber nicht überhängt, so daß die Schaufel die gezeichnete Stellung einnimmt. — Die Entfernung zweier Schaufeln d_1 nimmt man so groß, als die kleinste Schützenöffnung oder etwa 20 bis 30 Centimeter ($7\frac{1}{2}$ bis $11\frac{1}{2}$ Zoll). —

§. 177.

Tabelle.

Nachdem in den vorhergehenden Paragraphen die Leistung der einzelnen Wasserräder berechnet wurde, möge zur bessern Uebersicht nachstehende Zusammenstellung folgen:

	$\eta = \frac{L_n}{L_a}$	Wassermenge Q für den Nutzeffekt in Kubikfuß	Wassermenge Q für den Nutzeffekt in Kubikmeter	Umfangsgeschwindigkeit c	Durchmesser des Rades
Unterschlägiges Rad im geraden Gerine	0,30	$26{,}4 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}25 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}4\ \sqrt{2gH}$	4 bis 7m oder 12 bis 24 Fuß
Unterschlägiges Kropfrad .	0,40 bis 0,50	$20 \cdot \frac{N_n}{H}$ $16 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}187 \cdot \frac{N_n}{H}$ $0{,}15 \cdot \frac{N_n}{H}$	2m oder 5 bis 6 Fuß	3 bis 5 H
Mittelschlägiges Kropfrad .	0,55	$14{,}5 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}136 \cdot \frac{N_n}{H}$	1,4 bis 1,6m 5 Fuß	2 bis 3 H
Ponceletrad	0,60	$13{,}3 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}125 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}55\ \sqrt{2gH}$	4 H
Oberschlägiges Rad . . .	0,60 bis 0,66	$13{,}3 \cdot \frac{N_n}{H}$ $12 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}125 \cdot \frac{N_n}{H}$ $0{,}113 \cdot \frac{N_n}{H}$	1,4 bis 1,6m oder 5 Fuß	$H - 4\frac{c^2}{2g}$ oder H — 1,1 Fuß bis H — 1,5 Fuß
Rückenschlägiges Rad . .	bis 0,70	$11{,}4 \cdot \frac{N_n}{H}$	$0{,}107 \cdot \frac{N_n}{H}$	1,4 bis 1,6m oder 5 Fuß	H bis $1\frac{1}{4}$ H

§. 78.

Anlage mehrerer Wasserräder.

Wenn eine Wasserkraft auf zwei oder mehrere Räder zu vertheilen ist, so ist bei oberschlägigen Rädern eine Theilung des Wasserquantums das zweckmäßigste, während bei unterschlägigen Rädern eine Theilung des Gefälles besser ist, da der Verlust durch den schädlichen Raum bei diesen letztern Rädern kleiner wird, mit zwei hinter einander hängenden, als mit zwei neben einander hängenden Rädern. —

Wo die Wasserkraft getheilt wird durch Theilung des Wasserquantums, ist die Anordnung der einzelnen Räder genau so, wie schon angegeben. —

Nimmt man aber z. B. zwei unterschlägige Räder im geraden Gerinne hinter einander, deren Leistung gleich groß sein soll, so können sie nicht mit gleicher Geschwindigkeit sich bewegen, da das vom ersten Rade abfließende Wasser das zweite mit einer kleinern Geschwindigkeit trifft. —

Nach §. 76 (1.) ist ohne Rücksicht auf Verluste die Leistung des ersten Rades

$$L = \frac{Q\,\gamma}{g}\,(v - c)\,c$$

die Leistung des zweiten Rades

$$L^1 = \frac{Q\,\gamma}{g}\,(v^1 - c^1)\,c^1.$$

Annähernd wird die Geschwindigkeit c des vom ersten Rade wegfließenden Wassers gleich sein der Geschwindigkeit v^1 des beim zweiten Rade ankommenden, daher

$$L^1 = \frac{Q\,\gamma}{g}\,(c - c^1)\,c^1.$$

Setzt man nun für die Maximalleistung

$$c^1 = \tfrac{1}{2}\,v^1 = \tfrac{1}{2}\,c$$

so wird $L^1 = \frac{Q\,\gamma}{g} \cdot \frac{1}{4}\,c^2.$

Sollen nun wie angenommen beide Räder gleiche Leistung haben, also $L = L^1$, so folgt daraus

$$\tfrac{1}{4}\,c^2 = (v - c)\,c$$

oder $c = \frac{4}{5}\,v$

sowie $c^1 = \frac{2}{5}\,v.$

Die Leistung eines jeden Rades ist also

$$\frac{Q\,\gamma}{g}\,(v - \tfrac{4}{5}\,v)\,\tfrac{4}{5}\,v \text{ oder}$$

$$\frac{Q\,\gamma}{g} \cdot \frac{4\,v^2}{25}$$

und folglich

$$L + L^1 = 2 \frac{Q\gamma}{g} \cdot \frac{4v^2}{25}$$

$$= 0{,}32 \cdot \frac{Q\gamma}{g} \cdot v^2.$$

Hätte man statt dessen zwei Räder neben einander und besondere Gerinne angeordnet, so wäre deren Leistung unter sonst gleichen Verhältnissen

$$L^{11} + L^{111} = \frac{Q\gamma}{g} \cdot \frac{1}{4} v^2$$

$$= 0{,}25 \cdot \frac{Q\gamma}{g} \cdot v^2,$$

daher $L + L^1 > L^{11} + L^{111}$ und zwar um

$$0{,}07 \cdot \frac{Q\gamma}{g} \cdot v^2$$

oder um 7 Procent. —

§. 79.

Berechnung der Schiffmühlenräder.

Bei diesen ist nicht das ganze Wasserquantum des Flusses, sondern nur die Größe der eingetauchten Schaufelfläche in Berücksichtigung zu nehmen.

Versuche von Christian lehren, daß in diesem Falle der beste Effekt stattfindet, wenn c = 0, 4 v ist und daß der wirkliche Nutzeffekt nur $\frac{3}{4}$ des so berechneten beträgt, oder wenn A die Größe der eingetauchten Schaufelfläche in Quadratfuß, v die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers, c die des Rades am äußern Umfange

$$L_n = \frac{3}{4} \frac{A \cdot v \cdot \gamma}{g} (v - c)\, c$$

$$= 0{,}38 \cdot A \cdot v^3.$$

Nach Versuchen von Poncelet, wenn die Schaufelzahl so groß ist, daß immer zwei Schaufeln ins Wasser tauchen, kann man setzen

$$L_n = 0{,}8 \frac{(v - c)\, v \cdot c}{g} \cdot A\gamma$$

$$= 1{,}69 \cdot (v - c)\, v \cdot c \cdot A \text{ Fußpfunde.}$$

Auch bei diesen Rädern ordnet man die Stellung der einzelnen Schaufeln an, daß sie normal zum Wasserspiegel stehen, wenn sie zur Hälfte aus dem Wasser gezogen sind.

Siebentes Kapitel.

Berechnung der Wassersäulenmaschinen.

§. 80.

Wir haben bereits in §. 38 gesehen, daß die absolute theoretische Leistung einer Wassersäulenmaschine

$$L_a = Q\,\gamma\,.\,H$$

und daß die Nutzleistung

$$L_n = 0{,}50 \text{ bis } 0{,}85\ L_a$$

je nach der Konstruktion der Wassersäulenmaschine und der Art der Arbeitsmaschine.

Die Summe der sämmtlichen Widerstände würde also einer Leistung von 0,50 bis 0,15 L_a gleichzusetzen sein, und es könnte jetzt noch verlangt werden, auf welche Weise diese Widerstände wenigstens annähernd zu berechnen sind; denn wenn auch ein genaues Resultat immer nur durch einen direkten Versuch zu erhalten ist, so zeigte doch eine solche Rechnung, welche Dimensionen der Maschine für die Größe der Nutzleistung von dem wesentlichsten Einfluß sind.

Wenn wir mit Z eine Widerstandshöhe bezeichnen, durch welche sämmtliche Widerstände zu überwinden sind, so haben wir einfach die hydraulische Leistung des Wassers in der Maschine pro Sekunde

$$L_1 = Q\,\gamma\,.\,(H - Z). \qquad (1.)$$

Die ganze Widerstandshöhe Z wird nur eine Summe mehrerer Einzelwerthe sein, die der Reihe nach mit $z_1\ z_2\ .\ .\ .\ z_5$ bezeichnet werden sollen.

Wenn man die variable Geschwindigkeit des Treibkolbens auf eine mittlere gleichförmig wirkende Geschwindigkeit v reducirt, so muß nicht blos die dem Treibkolben angehängte Last überwunden werden, sondern es muß auch das Wassergewicht $Q\,\gamma$ von der Geschwindigkeit Null bis v gebracht werden, dies entspricht einer Widerstandshöhe

$$z_1 = \frac{v^2}{2g}. \qquad (1.)$$

Man ersieht ohne Weiteres, da z_1 mit v^2 zunimmt, daß es vortheilhaft ist, die Maschine sehr langsam arbeiten zu lassen, daher man meistens v nicht über 1 bis 1,5 Fuß annimmt. —

Ferner, wenn D der Durchmesser des Treibkolbens, d derjenige der Zu- und Abgangsröhren, so wird die Geschwindigkeit v_1 in diesen letztern sich ausdrücken durch

$$v_1 = \frac{D^2}{d^2}\ v.$$

Nimmt man $v_1 = 6$ Fuß, so ergiebt sich

$$d^2 = \tfrac{1}{6}D^2 \text{ oder } d = D\sqrt{\tfrac{1}{6}} = 0{,}406 \cdot D$$

und wenn noch die gesammte Röhrenlänge mit l bezeichnet wird, so

ist zur Ueberwindung der hydraulischen Hindernisse des Wassers in diesen Röhren, damit dasselbe mit der Geschwindigkeit v_1 sich bewegt, eine Widerstandshöhe erforderlich

$$z_2 = \varrho \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_1^2}{2\,g}$$

oder $\varrho = 0{,}03$ gesetzt

$$z_2 = 0{,}03 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{D^4}{d^4} \cdot \frac{v^2}{2\,g}. \qquad (2.)$$

Diese Formel zeigt, daß die Widerstandshöhe mit engen Röhren zunimmt. —

Die Geschwindigkeit in den Röhren ist jedoch keine gleichmäßige, da die Wassersäule in den Röhren bei jedem Kolbenspiele von der Geschwindigkeit Null auf die Geschwindigkeit v_1 gebracht werden muß, sowie von v_1 auf Null zurückgeht; und da das Gewicht des ganzen Wassers $\frac{1}{4}\,\pi\,d^2 \cdot l \cdot \gamma$,

so würde die dazu erforderliche Arbeit gleich sein

$$\tfrac{1}{4}\,\pi\,d^2 \cdot l \cdot \gamma \cdot \frac{v_1^2}{2\,g}.$$

Die Arbeit während eines Treibkolbenweges s wird sich ausdrücken durch $\frac{1}{4}\,\pi\,D^2 \cdot s \cdot \gamma \cdot z_3$ und sollen sich diese beiden Leistungen gleich sein, d. h.

$$\tfrac{1}{4}\,\pi\,d^2 \cdot l \cdot \gamma \cdot \frac{v_1^2}{2\,g} = \tfrac{1}{4}\,\pi\,D^2 \cdot s \cdot \gamma\,z_3,$$

so ergiebt sich

$$z_3 = \frac{d^2}{D^2} \cdot \frac{l}{s} \cdot \frac{v_1^2}{2\,g}$$

$$\text{und da } v_1 = \frac{D^2}{d^2}\,v \quad \text{oder } v_1^2 = \frac{D^4}{d^4} \cdot v^2,$$

so ist die erforderliche Widerstandshöhe

$$z_3 = \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{l}{s} \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (3.)$$

Diese Widerstandshöhe wird bei denjenigen Maschinen wegfallen, wo man die Zu- und Abgangsröhren mit Windkesseln versieht, wie **Tafel X** zeigt. — Es nimmt hier die abgesperrte Luft die Arbeit der lebendigen Kraft des Wassers auf, indem sie dadurch zusammengedrückt wird; diese Kraft wird aber wieder gewonnen durch das beim folgenden Spiele stattfindende Wiederausdehnen der Luft. —

Wir haben ferner zu berücksichtigen die Treibkolben-Reibung. Wenn B die Höhe der Dichtung oder Liederung, so ist der Inhalt der Liederungsfläche vom Treibkolben, dessen Durchmesser D ist,

$$\pi\,D\,B.$$

Um den Druck auf diese Fläche im Allgemeinen auszudrücken, bezeichnen wir **Fig. 13, Tafel XXII**, durch H_1 die Höhe vom Oberwasserspiegel bis zum mittlern Stande des Treibkolbens, mit H_2 die

Höhe der Hinterwassersäule über dem mittlern Stande des Treibkolbens, also $H = H_1 - H_2$.

Die mittlere Wassersäule, welche für die Kolbenreibung zu berücksichtigen, ergiebt sich dagegen durch das arithmetische Mittel $\frac{H_1 + H_2}{2}$, also wird der Druck auf die Liederung sich ausdrücken lassen durch

$$\pi D B \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) \cdot \gamma$$

und folglich die Kolbenreibung

$$R = f \cdot \pi D B \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) \cdot \gamma.$$

Wird dieselbe dem Gewichte einer Wassersäule gleich gesetzt, welche den Treibkolbenquerschnitt $\frac{1}{4} \pi D^2$ zur Grundfläche hat, so drückt die zugehörige Höhe z_4 den Gefällverlust oder die Widerstandshöhe aus, die erforderlich ist, um die Kolbenreibung zu überwinden, also

$$\tfrac{1}{4} \pi D \cdot z_4 \cdot \gamma = f \cdot \pi D B \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) \gamma$$

oder

$$z_4 = 4 \cdot f \cdot \frac{B}{D} \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) \qquad (4.)$$

Wenn $\frac{B}{D} = 0{,}15$ wäre und der Reibungskoefficient von Leder auf Gußeisen zu 0,25 angenommen wird, so wäre

$$z_4 = 0{,}15 \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) \qquad (4^a)$$

Es geht daraus hervor, daß diese Reibung um so größer wird, je tiefer die Maschine steht, je höher also die Hinterwassersäule. —

Man kann $\frac{\frac{H_1 + H_2}{2}}{H}$ ausdrücken durch den Koefficienten ε, dann geht die vorhergehende Gleichung über in

$$z_4 = 0{,}15 \cdot \varepsilon \cdot H. \qquad (4^b)$$

In den seltenen Fällen, daß die Maschinen keine Hinterwassersäule, sondern ein niedergehendes Ausgußrohr haben, kann man $H = H_1 + H_2$ setzen, so lange H_2 noch vom Atmosphärendruck getragen wird, d. h. theoretisch nicht über 32,9 Fuß hoch ist, welches Maß sich in der Praxis auf 20 — 25 Fuß reducirt. —

Ebenso wie der Treibkolben wird auch das Steuerkolbensystem eine Reibung verursachen. Nehmen wir an, es seien drei Kolben, wie bei der Maschine auf Tafel **IX**, Fig. 6 — 8, und es seien $d, d_{11} d_{111}$ die Durchmesser der drei Kolben R, J, K; $a_1\, a_{11}\, a_{111}$ ihre bezüglichen Querschnittsflächen, das Gesammtgewicht derselben G und ihre Reibung R_1, so hat man mit Bezug auf **Fig. 18, Taf. XXII**, beim Hinaufgehen der Kolben in der gezeichneten Stellung der Hülfssteuerkolben:

$$a_1 h_2 \gamma + a_{11} h_1 \gamma = a_1 h_1 \gamma + (a_{11} - a_{111}) h_2 \gamma + R_1 + G \qquad (a.)$$

beim Hinabgehen derselben, wo der Hülfssteuerkolben K unterhalb des Kanales 0 steht:

$$(a_{11} - a_{111})\, h_1 \gamma + a_1 h_1 \gamma + G = a_{11} h_1 \gamma + a_1 h_2 \gamma + R_1 \qquad \text{(b.)}$$

dadurch erhält man

$$a_{111} = \frac{G - R_1}{\gamma h_1} + a_1 \left(1 - \frac{h_2}{h_1}\right) \qquad \text{(c.)}$$

und wenn man diesen Werth in die erste Gleichung einsetzt und dann a_{11} bestimmt, so wird

$$a_{11} = \frac{G + R_1}{\gamma (h_1 - h_2)} - \frac{(G - R_1) \cdot h_2}{\gamma (h_1 - h_2)\, h_1} + a_1 \left(1 - \frac{h_2}{h_1}\right) \qquad \text{(d.)}$$

wobei der Querschnitt a_1 des Hauptsteuerkolbens R zuerst angenommen wird. —

Aus $a_1 = \frac{1}{4} \pi d_1^2$, $a_{11} = \frac{1}{4} \pi d_{11}^2$ und $a_{111} = \frac{1}{4} \pi d_{111}^2$ ergeben sich ohne Weiteres die Durchmesser der Kolben

$$d_1 = 1{,}128 \sqrt{a_1} \qquad d_{11} = 1{,}128 \sqrt{a_{11}}$$

$$d_{111} = 1{,}128 \sqrt{a_{111}}$$

Die Berechnung der Steuerkolbenreibung dagegen läßt sich vereinfachen, ohne dem Resultat erheblich zu schaden, wenn man das Eigengewicht G außer Acht läßt, weil dieses klein ist gegenüber dem Wasserdruck, und für die Wasserdrucke h_1 und h_2 den mittlern Werth $\frac{h_1 + h_2}{2}$ einsetzt, alsdann erhält man die Reibungen der einzelnen Liederungen mit Bezug auf Gleichung (a.)

$$\frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \gamma \varphi \pi\, (b_1 d_1 + b_{11} d_{11}) = \frac{h_1 + h_2}{2}\, \gamma \cdot \varphi \pi\, (b_1 d_1 + b_{11} d_{11} - b_{111} d_{111}) + R_1$$

oder

$$\varphi \pi \gamma (b_1 d_1 + b_{11} d_{11} - b_1 d_1 - b_{11} d_{11} + b_{111} d_{111}) \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) = R_1$$

$$\varphi \cdot \pi \gamma \cdot b_{111} d_{111} \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) = R_1 \qquad \text{(e.)}$$

Diese Steuerkolbenreibung kann man wieder wie die Treibkolbenreibung ausdrücken durch das Gewicht einer Wassersäule, deren Grundfläche der Querschnitt $\frac{1}{4} \pi d_{111}^2$ ist, und es drückt dann die zugehörige Höhe z_5 den Gefällverlust oder die Widerstandshöhe aus, die erforderlich ist, um diese Reibung zu überwinden, also

$$\frac{1}{4} \pi d_{111}^2\, z_5 \cdot \gamma = \varphi \pi \gamma \cdot b_{111} d_{111} \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)$$

oder

$$z_5 = 4\, \varphi \cdot \frac{b_{111}}{d_{111}} \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) \qquad \text{(5.)}$$

Wir wollen $\varphi = \frac{1}{40}$ bis $\frac{1}{30}$ setzen, und das Verhältniß $\frac{b_{111}}{d_{111}} = \frac{1}{2}$, alsdann ergiebt sich

$$z_5 = 0{,}06 \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) \qquad \text{(5}^{a}\text{)}$$

Obgleich $\frac{H_1 + H_2}{2}$ verschieden ist von $\frac{h_1 + h_2}{2}$, wird doch die Differenz gegenüber dem ganzen Gefälle nur unbedeutend sein, und wir setzen deshalb der Einfachheit wegen wie vorher:

$$\frac{h_1 + h_2}{2} = \varepsilon H$$

oder

$$z_5 = 0{,}06 \,.\, \varepsilon H \qquad (5^b)$$

Setzen wir nun in der allgemeinen allgemeinen Gleichung (I.)

$$L_1 = Q\gamma\ (H - Z) \qquad (I.)$$

für Z die Summe $z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5$, so erhalten wir

$$L_1 = Q\gamma\ (H - z_1 - z_2 - z_3 - z_4 - z_5) \qquad (II.)$$

als Ausdruck für die hydraulische Leistung der Maschine, wobei die schwieriger zu berechnenden Werthe, als die Reibung der Stangen in den Stopfbüchsen, Drosselklappen, die Reibung der kleinen hydraulischen Hülfssteuerung 2c. außer Acht gelassen sind. Dagegen können wir noch denjenigen Verlust in Rechnung stellen, welcher durch das sogenannte Steuerwasser erfolgt, das nicht auf dem Treibkolben zur Wirkung gelangt, obschon es das Gefälle H ebenfalls zurücklegt; ist Q_1 sein Volumen, so ist die entsprechende Arbeit

$$Q_1\, \gamma\, H \qquad (6.)$$

welche noch von Gleichung (II.) abzuziehen wäre. — Das Volumen Q_1 pro Sekunde, wenn s_1 der Weg des Steuerkolbens, drückt sich bei n einfachen Spielen p. Minute aus durch

$$Q_1 = \frac{\pi\, d_{111}^2}{4} \cdot s_1 \cdot \frac{n}{60} \qquad (6^a)$$

Und es würde sich, wenn die einzelnen Werthe von z_1 u. s. w. eingesetzt werden, die Formel für die hydraulische Leistung darstellen:

$$L_1 =$$
$$Q\gamma \left[H - \frac{v^2}{2g} - 0{,}03\,\frac{b}{d} \cdot \frac{D^4}{d^4} \cdot \frac{v^2}{2g} - \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{l}{s} \cdot \frac{v^2}{2g} - \right.$$
$$\left. 4f \cdot \frac{B}{D} \cdot \left(\frac{H_1 + H_2}{2}\right) - 4\,\varphi \cdot \frac{b_{111}}{d_{111}} \cdot \left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right)\right] - Q_1\, \gamma\, H \qquad (III.)$$

oder

$$L_1 =$$
$$Q\gamma \left[H\,(1 - 0{,}21\,\varepsilon) - \frac{v^2}{2g}\left(1 + 0{,}03 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{D^4}{d^4} + \frac{D^2}{d^2} \cdot \frac{l}{s}\right)\right] -$$
$$\frac{\pi\, d_{111}^2}{4} \cdot s_1 \cdot \frac{n}{60} \cdot H\gamma. \qquad (IV.)$$

Es würde nun zwischen der Nutzleistung und der hydraulischen Leistung das Verhältniß

$$\frac{L n}{L_1} = \lambda$$

stattfinden, und der Koefficient λ würde desto näher gleich 1 sein, je genauer bei einer numerischen Berechnung die Koefficienten ϱ, f,

φ, sowie die Werthe ε, $\frac{B}{D}$ und $\frac{b_{111}}{d_{111}}$ angenommen werden konnten. —

Achtes Kapitel.

Berechnung der Turbinen.

§. 81.

Wirkungsweise des Wassers in den Turbinen.

I. Abgesehen von den verschiedenen Konstruktionen der Turbinen, welche im vierten Kapitel beschrieben sind, werden gewöhnlich die Turbinen in zwei Systeme getheilt, welche man von einander durch die verschiedenen Druck- und Geschwindigkeitsverhältnisse des Wassers unterscheidet, mit welcher dieses aus den Leitschaufeln durch das Turbinenrad strömt. —

Bei den sogenannten Reaktionsturbinen tritt hiernach das Wasser aus den Leitschaufeln mit einer geringern absoluten Geschwindigkeit, als dem Wasserdruck über den Leitschaufeln entsprechen würde; die Differenz zwischen der entsprechenden Geschwindigkeitshöhe und dem absoluten Gefälle erzeugt beim Uebergange des Wassers aus dem Leitrade ins Turbinenrad einen Ueberdruck, welcher erst im Turbinenrade nutzbar gemacht wird. —

Bei den Druckturbinen ist die Geschwindigkeitshöhe der absoluten Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus dem Leitrade ins Turbinenrad annähernd gleich dem absoluten Gefälle. —

Soll also bei den Reaktionsturbinen die ganze lebendige Kraft durch das Turbinenrad nutzbar gemacht werden, so muß das Wasser in diesem in ununterbrochener Verbindung mit dem Wasser im Leitrade bleiben, denn nur dann kann der noch restirende, dem ganzen Gefälle zugehörige Ueberdruck dem Wasser im Turbinenrade mitgetheilt und also durch dasselbe nutzbar gemacht werden. — Wird aber bei einer kleinern Wassermenge ein Theil der Oeffnungen des Leitrades geschlossen, so entsteht dadurch eine Unterbrechung des kontinuirlichen Zusammenhanges des Wassers, und die Folge davon ist, daß für einen Theil des Wassers im Turbinenrade der Ueberdruck und die demselben entsprechende Gefällhöhe für die Nutzleistung verloren geht. Dieser Verlust wird um so größer, je geringer die Wassermenge im Vergleich zur normalen Wassermenge wird, je mehr Zellen des Leitrades also geschlossen werden, weil dadurch die Zeitdauer zunimmt, während welcher der kontinuirliche Zusammenhang des Wasserstrahls unterbrochen wird. —

Fig. 13, Taf. XIX, veranschaulicht diese Störung im Zusammenhange des Wasserstrahls, in deren Folge eine wirbelnde Bewegung, ein Verspritzen des Wassers erfolgt. —

Einerseits ist aus dem vorher Gesagten zu folgern, daß es eigentlich reine Reaktionsturbinen nicht geben kann, weil durch die Schaufeln während der Drehung des Turbinenrades eine, wenn auch kleine, Unterbrechung des Wasserstrahles stets stattfinden muß. — Andererseits aber auch ist klar, daß Stauwasser bei diesen Turbinen den Wirkungsgrad nicht erheblich beeinträchtigen kann, weil dadurch eine Unterbrechung des Wasserstrahles nicht verursacht wird; besonders so lange die Aufschlagwassermenge die normale ist. —

Bei den Druckturbinen kann eine Unterbrechung des kontinuirlichen Zusammenhanges des Wassers zwischen Leitrad und Turbinenrad ohne wesentlichen Nachtheil geschehen, weil das Wasser bereits die ganze lebendige Kraft besitzt und nur noch diejenige hinzutritt, welche aus dem Fall des Wassers durch die Schaufelhöhe entsteht, vorausgesetzt, daß das Wasser frei über dem Unterwasserspiegel arbeitet, und dieser Zuwachs kann durch einen partiellen Verschluß des Leitrades nicht gestört werden. — Leider haben aber die früheren Konstruktionen der Druckturbinen einen geringen Wirkungsgrad ergeben, wenn sich dieselben nicht frei, sondern unter Wasser drehen, ein Fall, der bei Stauwasser jedesmal eintreten wird. —

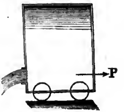
II. Die Namen Reaktionsturbinen und Druckturbinen sind nicht glücklich gewählt und auch meistens nur in Deutschland üblich; die Franzosen z. B. sagen anstatt Reaktionsturbinen: Roues hydrauliques à pression universelle et continue. —

In jeder Reaktionsturbine wirkt das Wasser im Moment seines Eintrittes durch Druck, wenn auch nur kurze Zeit, und in jeder Druckturbine wirkt das Wasser beim Austritt aus dem Rade durch Reaktion. — Es hängt ganz von dem Verhältniß des Leitschaufelwinkels α zum Radschaufelwinkel β ab, wie lange die Druckwirkung dauert; die Reaktionswirkung beginnt früher, wenn der Radschaufelwinkel β ein rechter oder stumpfer ist. —

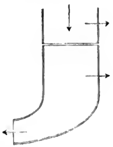
Als reine Reaktionsturbine läßt sich eigentlich nur das Segner'sche Wasserrad bezeichnen, dessen Reaktionswirkung der Mathematiker Euler im Jahre 1750 in einem Berichte an die Berliner Akademie berechnete. —

Wenn in Abbildung Nr. 10 das Wasser im Gefäße eine konstante Druckhöhe behält, und seitwärts sich eine Ausflußöffnung befindet, so übt der ausfließende Wasserstrahl eine Rückwirkung, Reaktion, P aus, vermöge deren das Gefäß in der Richtung des Pfeiles fortgehen würde. — Dasselbe, nämlich die ungestörte Wirkung der Reakion, wird noch stattfinden bei einem Gefäß, in welches das Wasser zugeführt wird durch eine Leitzelle, so lange die letztere gleichmäßig mit dem Gefäß fortschreitet, wie bei

Nr. 10.



Nr. 11.



Nr. 12.

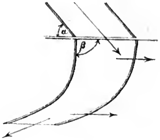
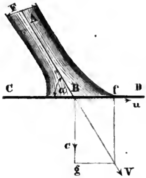


Abbildung Nr. 11 angenommen ist. — Ein solches Gefäß kann in eine Turbinenzelle verwandelt werden, wie in Abbildung Nr. 12 geschehen, welche dann nicht blos eine fortschreitende Bewegung allein hat, während die Leitzelle stehen bleibt, sondern es bilden die Leitschaufeln und die Radschaufeln auch noch verschiedene Winkel mit der Bewegungsrichtung. — In einer solchen Zelle wird das Wasser beim Eintritt durch direkten Druck und beim Austritt durch rückwirkenden Druck, also durch Reaktion wirken. — Die einfache Abbildung verdeutlicht dies schon ohne Rechnung.

Nr. 13.



III. Wenn ein Wasserstrahl in der Richtung A B mit der Geschwindigkeit v unter einem Winkel α gegen eine Tafel C D trifft, die in normaler Richtung mit der Geschwindigkeit c ausweicht, Abbildung Nr. 13, so ist $B g = v \cdot \sin \alpha = c$ und $B f = v \cdot \cos \alpha = u$.

Der Nutzeffekt des Wasserstoßes vom Wasservolumen Q, dessen Kubikeinheit γ, ist bekanntlich

$$L = \frac{Q\,\gamma}{g}\,(v - c)\,c$$

und der Druck, das ist

$$\frac{L}{c} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Geschwindigkeit}}$$

ist $P = \frac{Q\,\gamma}{g}\,(v - c)$.

Stößt dieser Wasserstrahl normal gegen eine ruhende Tafel, also $c = 0$, so ist

$$P = \frac{Q\,\gamma}{g}\,v.$$

Das Volumen Q drückt sich aber aus durch F v, wenn F der Querschnitt des Wasserstrahles, folglich

$$P = F\,\gamma \cdot \frac{v^2}{g}$$

oder

wenn die zu v gehörige Geschwindigkeitshöhe mit $\frac{v^2}{2\,g} = H$ bezeichnet wird, so läßt sich auch schreiben

$$P = 2\,F\,\gamma \cdot \frac{v^2}{2\,g}.$$

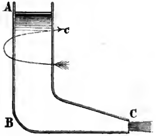
Wird Wasser in eine Röhre oder in ein Gefäß geführt, in welchem der Wasserspiegel die konstante Höhe über der Ausflußöffnung hat, so ist bekanntlich bei stillstehendem Gefäß $v = \sqrt{2\,g\,h}$.

Wenn aber das Gefäß in eine rotirenden Bewegung um seine Axe versetzt wird, wobei die Ausflußöffnung die Geschwindigkeit c erhält, so erhöht sich die Ausflußgeschwindigkeit so, daß sie jetzt der Druckhöhe

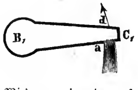
$$h + \frac{c^2}{2\,g}$$

entspricht und die relative Ausflußgeschwindigkeit ist jetzt $2\,g\,h + c^2$. Ganz dasselbe findet auch noch statt, wenn, wie in Abbildung Nr. 14, das Gefäß A B in eine horizontale Röhre B C übergeht. —

Nr. 14.



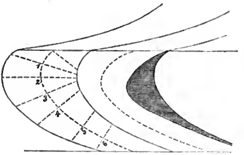
Nr. 15.



Wird nun in einem solchen Gefäß die Oeffnung nicht in der Axe der angesetzten Röhre, sondern, wie Abbildung Nr 15 zeigt, seitwärts, so wird durch den bei der Oeffnung a vom Querschnitt F austretenden Wasserstrahl eine Rückwirkung oder Reaktion *) $P = 2\,F\,\gamma \cdot \frac{v^2}{2\,g}$ auf d entstehen und sich also das Gefäß um seine Axe in der Pfeilrichtung drehen, die dadurch unter dem Drucke h erlangte Geschwindigkeit sei c. — Soll nun durch einen solchen Apparat das Wasser seine ganze Leistung $L = Q\,\gamma\,h$ bei dieser Bewegung abgeben, so müßte die absolute Austrittsgeschwindigkeit $= 0$ sein; die Rotationsgeschwindigkeit der Oeffnung ist aber $= c$, und also die relative Geschwindigkeit des Wassers gegen die Ausflußöffnung $= 0 + c = c$. — Es müßte also auch die vorher gefundene relative Austrittsgeschwindigkeit $(2\,g\,h + c^2) = c$ oder $2\,g\,h = 0$ sein, was nur sein könnte, wenn $h = 0$ oder $v = \infty$ wäre, was nicht möglich ist. — Man kann daher v nur möglichst groß machen, d. h. dem Apparate viele Umdrehungen geben, in keinem Falle aber kann die effektive Leistung der absoluten Leistung $Q\,\gamma\,h$ gleichkommen oder dieselbe etwa gar übertreffen. —

*) Reaktion = Arbeit des Rückstoßes.

Nr. 16.



IV. Der oben erwähnte Uebelstand, daß die früheren Druckturbinen bei Stauwasser im Wirkungsgrade beeinträchtigt werden, kann mit Bezug auf Abbildung Nr. 16 darauf zurückgeführt werden, daß das Wasser, so lange das Rad über Wasser arbeitet, vorherrschend der konkaven Seite der Schaufel ohne Störung folgt und die konvexe Seite der nächsten Schaufel nicht berührt, so daß sich also ein in der Figur dunkel angegebener Raum bilden wird, der mit Luft erfüllt ist. — Sobald nun das Rad unter Wasser arbeiten muß, wird sich der vorher mit Luft erfüllte Raum mit Wasser füllen, welches mit in die Bewegung hineingerissen wird, wodurch Störungen im Zusammenhange des Wasserstrahles entstehen müssen. —

Dieser Uebelstand wurde nach den Mittheilungen des Ingenieurs Girard schon von Poncelet in Erwägung gezogen. — Nachdem derselbe erkannt hatte, daß es für die beste Wirkung des Wassers in einer Turbine erforderlich sei, das Wasser ohne Stoß eintreten und auf dem konkaven Theile einer Kurve ohne Unterbrechung cirkuliren zu lassen, bis es am andern Ende mit einer kleinen absoluten Geschwindigkeit wieder fortgeht, machte er den Vorschlag, eine Kontreschaufel anzubringen, um den schädlichen Raum zwischen dem konkaven und konvexen Theile der Kurve auszufüllen. — Sein Vorschlag blieb lange unbeachtet. —

Girard hat die Lösung dieses Problems durch die Konstruktion seiner hydropneumatischen Turbine gesucht und gefunden, welche bereits im vierten Kapitel beschrieben wurde. —

Indem durch die komprimirte Luft das Unterwasser in der Turbinenkammer zurückgedrängt wird, bewegt sich das Turbinenrad frei in der Luft, so daß Störungen im Zusammenhange des Wasserstrahles durch Rückstau des Unterwassers nicht eintreten können.— **Fig. 14, Taf. XIX,** zeigt den Wasserstrahl und wie die Rückschaufel anzuordnen wäre, welche Girard aber nicht anwendet (wenigstens so weit es die veröffentlichten Zeichnungen zeigen), weil er die Turbinen vorherrschend über Wasser oder mit Hydropneumatisation gehen läßt. — Girard nennt dies eine „Beaufschlagung ohne Druck und Stoß und mit kontinuirlichem Ausflusse durch freie Abweichung“ (admission sans pression et sans choc, et à évacuation continue par libre déviation), indem er dabei noch die Breite oder Höhe des Rades an den Austrittselementen der Schaufeln bedeutend erweitert, wie der Durchschnitt **Figur 14 c** zeigt. Dabei hat **Fig. 14 a** eine horizontale Axe und **Fig. 14 b, Taf. XIX,** eine vertikale, ohne daß dadurch irgend eine Aenderung im Wasserstrahl, resp. in der Schaufelkonstruktion herbei-

geführt würde. — Diese Figuren sind gewissermaßen die Ergänzungen zu **Fig. 12 u. 13**, wobei **Fig. 12** mit innerer Beaufschlagung und vertikaler Axe durch eine Etage getheilt ist, so daß die Entleerung auch noch annähernd kontinuirlich stattfindet bei theilweise geschlossenem Leitrade. —

Die Girard'schen Turbinen, sie mögen Vollturbinen oder Partialturbinen sein, sind in Bezug auf Zuführung und Schaufelkonstruktion in gleicher Weise ausgeführt, dabei ist in den Figuren **Taf. XIX** β ein spitzer Winkel, während er bei **Fig. 11, Taf. XX**, ein stumpfer Winkel ist. —

Hänel hat die Hydropneumatisation nicht zur Ausführung gebracht, sondern die Nothwendigkeit und den Nutzen der Rückschaufeln zuerst bestimmter nachgewiesen und die Turbinen vorherrschend mit Rückschaufeln konstruirt, wie auf **Taf. XXIII**, so daß dieselben sowohl frei als unter Wasser arbeiten können, voll oder theilweise beaufschlagt. — Auch hat Ministerialrath von Rittinger zu Wien in der zweiten Auflage seiner „Rohrturbinen" die Schaufelkonstruktion mit Rückschaufeln allgemein eingeführt. —

V. Es ist schon bei der Beschreibung der Turbinen in §. 50 erwähnt worden, daß dieselben sowohl am tiefsten Punkte des Gefälles aufgestellt, als auch in das Gefälle eingeschaltet werden können, der Art, daß dann die Unterwassersäule ebenfalls für die Leistung der Turbine wirksam wird, wie es dem absoluten Gefälle entspricht. — Es soll dieser Punkt noch etwas näher besprochen werden: —

Bekanntlich ist die Ausflußgeschwindigkeit für das Gefälle H

$$V = \sqrt{2\,g\,H} \text{ und } V^2 = 2\,g\,H$$

oder $$\frac{V^2}{2\,g} = H$$

wenn keine Bewegungswiderstände vorhanden wären, und es wäre dann das absolute Gefälle H zugleich auch die der effektiven Geschwindigkeit V zukommende Geschwindigkeitshöhe. —

Beim Ausfluß unter Wasser, wie Abbildung Nr. 17 zeigt, wäre unter derselben Voraussetzung, daß keine Bewegungshindernisse vorhanden,

$$V^2 = 2\,g\,(H_1 - h) = 2\,g\,H.$$

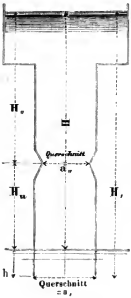
In Wirklichkeit ist jedoch als Folge der Bewegungswiderstände die effektive Geschwindigkeit $v < V$, so daß wir setzen

$$\frac{v^2}{2\,g} + h = H.$$

h läßt sich durch die entsprechende Höhe einer Wassersäule ausdrücken, ist also als Wassermanometerhöhe zu bezeichnen und stellt die Pressung des Wassers gegen die Wände, also die Bewegungswiderstände, die Reibung dar. —

Man nennt diese Wassermanometerhöhe h auch die Pressungshöhe oder die hydraulische Druckhöhe und im Gegensatz hierzu das absolute Gefälle H die hydrostatische Druckhöhe. —

Nr. 17.



Wenn wie in Abbildung Nr. 17 aus einem Behälter mit konstanter Oberfläche durch ein vertikales Rohr Wasser in einen darunter liegenden Behälter mit gleichfalls konstanter Oberfläche fließt, und es ist v_1 die Geschwindigkeit an der untern Oeffnung, deren Querschnitt a_1 ist, so ist

$$\frac{v_1^2}{2g} = H = H_1 - h$$

$$\text{oder } \frac{v_1^2}{2g} + h = H_1.$$

Bezeichnet v_{11} die Geschwindigkeit an einer andern Stelle des Rohres, wo der Querschnitt a_{11} ist und h_{11} die Wassermanometerhöhe oder die Pressungshöhe an dieser Stelle, welche den Abstand H_{11} unter dem Oberwasserspiegel hat, so ist

$$\frac{v_{11}^2}{2g} + h_{11} = H_{11} \text{ oder}$$

$$h_{11} = H_{11} - \frac{v_{11}^2}{2g}.$$

Da nun aber in gleichen Zeiten durch die beiden Querschnitte a_1 und a_{11} gleichviel Wasser läuft, so ist

$$a_{11} \; v_{11} = a_1 \; v_1,$$

$$\text{also } v_{11} = \left(\frac{a_1}{a_{11}}\right) v_1$$

$$\text{oder } h_{11} = H_{11} - \left(\frac{a_1}{a_{11}}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$$

$$= H_{11} - \left(\frac{a_1}{a_{11}}\right)^2 \cdot H,$$

d. h. die Pressungshöhe h_{11} hängt von dem Verhältniß $\frac{a_1}{a_{11}}$ ab, und kann also in demselben Abstande H_{11} vom Oberwasserspiegel verschiedene Werthe haben. —

Ist $v_{11} = v_1$ oder $a_{11} = a_1$, d. h. das Rohr gleich weit, so folgt

$$h_{11} = H_{11} - H$$
$$= -(H - H_{11}).$$

Ist $v_{11} > v_1$ oder $a_{11} < a_1$, d. h. das Rohr (wie gezeichnet) an dieser Stelle enger als unten, so wird h_{11} noch mehr negativ als vorher.

Wird $v_{11} < v$ oder $a_{r1} > a$, so bleibt h_{11} nur so lange negativ, als $\left(\frac{a_1}{a_{11}}\right)^2 H > H_{11}$ wäre, wird dagegen $\left(\frac{a_1}{a_{11}}\right)^2 H = H_{11}$,

so ergäbe sich

$$h_{11} = 0,$$

d. h. die Pressungshöhe wäre gleich der atmosphärischen Pressung. —

Der letzte Fall kommt bei den Turbinen nicht vor, bei dieser ist immer

$$a_{11} \leqq a$$

und also die Pressung des Wassers in dem Querschnitte, wo die Turbine eingesetzt ist, als eine negative zu bezeichnen. — Natürlich kann dies nur solange stattfinden, als die Differenz $(H - H_{11}) = H_u$ kleiner ist, als die Wasserbarometerhöhe (32,9 Fuß = 10,3 Meter), weil dieselbe sonst nicht mehr von dem atmosphärischen Luftdruck getragen würde und der Zusammenhang des Wasserstromes zerrissen würde (vergl. §. 50).

Diese negative Pressung, welche in dem oben erwähnten Rittinger'schen Buche hervorgehoben wird, bezeichnen Andere als einen unfaßlichen Begriff, jedoch wohl mit Unrecht, da dieser Ausdruck die bildliche Vorstellung der Wirkungsweise des Wassers erleichtert, denn wenn man sich erlaubt, diese negative Pressung gewissermaßen als Zug zu denken, so ist es von vornherein viel anschaulicher, daß die Unterwassersäule für die Leistung der Turbine ebenfalls als Gefälle wirkt. Daß man einen Ausdruck negativ in die Rechnung einführt, der an sich positiv ist, findet sich auch z. B. bei Berechnung eines Dampfschiffes, wenn man die Kraft zur Fortbewegung desselben auf einem Flusse bestimmt, welcher mit der Geschwindigkeit $\pm w$ dem Schiffe entgegenströmt. — Das Wasser hat an sich immer die Geschwindigkeit w, es ist aber $+ w$ oder $- w$ zu setzen je nachdem das Schiff stromaufwärts oder stromab fährt. — So auch bei den Turbinen: der Theil des Gefälles, welchen die Unterwassersäule repräsentirt, für welchen eine negative Pressung eingeführt wird, wirkt als Zug, der Theil des Gefälles über der Turbine als Druck. —

Der Geschwindigkeit v_0, mit welcher das Wasser aus dem Leitrade tritt, kann man durch Verengung oder Erweiterung der Leitradkanäle beliebige Werthe geben. Wenn also das Turbinenrad so geschaufelt wird, daß das Wasser in das letztere mit ungeänderter Geschwindigkeit

$$v_1 = v_0$$

eintritt und der beim Uebertritt sich ergebende Effektverlust blos in der Abnahme der Pressung sich aussprechen soll, so könnte man im Voraus feststellen, in welcher Weise das Wasser wirken soll:

a) ob ohne weitere Aenderung der Pressung blos durch Aenderung seiner absoluten Geschwindigkeit (Aktionsturbine);

b) blos durch Aenderung der Pressung bei gleichbleibender absoluter Geschwindigkeit (Reaktionsturbine);

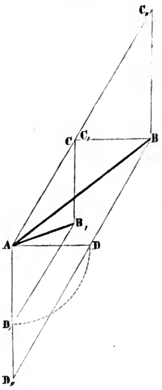
c) durch Aenderung der Geschwindigkeit und Pressung zugleich (gemischte Turbine). —

Rittinger, der diese Eintheilung macht, findet denn durch weitere Rechnung, daß es reine Reaktionsturbinen eigentlich nicht giebt, was wir schon in I. und II. dieses Paragraphen erwähnt haben. —

VI. Es bleibt in diesem allgemeinen Ueberblick der Wirkungsweise des Wassers in den Turbinen noch eine Betrachtung übrig. — Man führt zuweilen in die Formeln zur Berechnung der Turbinen, insbesondere bei den Turbinen mit innerer oder äußerer Beaufschlagung einen Ausdruck für die beschleunigte oder verzögerte Wirkung der Centrifugalkraft ein. Girard bemerkt mit Recht hierzu, daß dies nicht blos der relativen Bewegung, sondern auch der Erfahrung widerspricht. —

Man kann allerdings berechnen (schon das in III. dieses Paragraphen Gesagte deutet dies an), daß die Centrifugalkraft den Wasserverbrauch vermehrt, dadurch wird aber die Leistung des Rades nicht erhöht, denn dieser Ueberschuß wird vollständig wieder aufgezehrt. — Es ist für die Praxis überflüssig, dies näher zu berechnen, denn schon eine einfache Anschauung läßt es undenkbar erscheinen, wenn das Wasser, d. h. die Bewegung desselben als Ursache der Centrifugalkraft zu gelten hat, daß dann diese letztere auch noch Arbeit nutzbar machen soll, und wenn ein Versuch angestellt werden könnte, diese durch die Centrifugalkraft angeblich nutzbar gemachte Arbeit durch ein Dynamometer zu ermitteln, so würde dieser Versuch unfehlbar dasselbe Resultat liefern, was man erhielt, als für eine Dampfmühle einmal anfänglich das Schwungrad der Dampfmaschine weggelassen wurde, weil es durch die Centrifugalkraft der Mühlsteine ersetzt werden sollte.

Nr. 18.



§. 82.

Verhältniß zwischen absoluter und relativer Geschwindigkeit in Bezug auf Turbinenschaufeln.

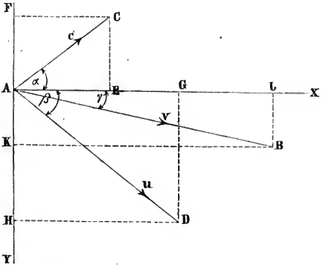
I. Die Geschwindigkeit A B = v eines Punktes A, Abbildung Nr. 18, kann durch die zwei Seitengeschwindigkeiten A C = c und A D = u vertreten oder ersetzt werden. — Aendert sich A D = u nicht in ihrer Größe, aber in ihrer Richtung, so wird die Geschwindigkeit A B in A B_1 übergeführt, d. h. nach Größe und Richtung geändert, während A C_1 = c_1 und A D_1 = u_1 ihrer Größe nach = c resp. = u, also unverändert bleiben. —

Bleibt dagegen A B = v und behält denselben Winkel bei mit A C, während der Winkel mit A D sich än-

dert, so ändert sich die Geschwindigkeit c in $c_{11} = A\,C_{11}$ und u in $u_{11} = A\,D_{11}$ um. —

Daraus ersieht man, daß einem materiellen Punkte, dem eine anfängliche Geschwindigkeit v zugehört, eine verzögerte Bewegung ertheilt werden kann, wenn wir denselben nöthigen, gleichzeitig einer Bewegung nach zwei Richtungen zu folgen, deren Divergenz sich stetig vergrößert. Dies kann bei allen Turbinen geschehen, indem sich das Betriebswasser entlang der Schaufel bewegt. Hierbei entspricht seiner absoluten Geschwindigkeit an irgend einer Stelle der Schaufel die zurückweichende Geschwindigkeit der letztern als die eine und die Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser entlang der Rinne bewegt, als die zweite Seitengeschwindigkeit. — Entfernen sich die Richtungen dieser Bewegungen stetig von einander — was immer durch die Form der Schaufel zu bewirken — dann kann auch eine fortschreitende Verminderung der anfänglichen absoluten Geschwindigkeit des Betriebswassers eintreten, d. h. es kann dem Wasser während seines Durchganges durch die Schaufelkanäle eines sich drehenden Turbinenrades bewegende Kraft entzogen werden, und diese also für andere Zwecke nutzbar gemacht werden. —

Nr. 19.



Wenn in Abbildung Nr. 19, v, c, u die vorgenannten Bezeichnungen haben, also v die absolute Geschwindigkeit ist, und wir nehmen eine Linie A X in derselben Ebene mit A B und A C, und zählen die Winkel der Richtungslinien mit A X von derselben ab nach A Y (rechts) herum, so wird Winkel $D\,A\,X = \beta$ und $C\,A\,X = -\alpha$ zu bezeichnen sein. —

Es ist nun

$$A\,E = c \cdot \mathrm{Cos} - \alpha = c \cdot \mathrm{Cos}\ \alpha$$
$$A\,F = C\,E = c \cdot \mathrm{Sin} - \alpha = - c \cdot \mathrm{Sin}\ \alpha$$
$$A\,G = u \cdot \mathrm{Cos}\ \beta$$
$$A\,H = D\,G = u \cdot \mathrm{Sin}\ \beta.$$

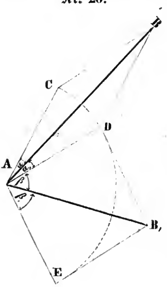
Somit ist die Summe der Seitengeschwindigkeiten nach A X gleich
$$c \cdot \mathrm{Cos}\ \alpha + u \cdot \mathrm{Cos}\ \beta = A\,I$$
und nach A Y gleich
$$u \cdot \mathrm{Sin}\ \beta - c \cdot \mathrm{Sin}\ \alpha = A\,K.$$

Daraus folgt die absolute Geschwindigkeit
$$(A\,B)^2 = (A\,I)^2 + (A\,K)^2 = v^2$$
oder die Werthe eingesetzt
$$v^2 = c^2 + 2\,c\,u \cdot \mathrm{Cos}\ (\alpha + \beta) + u^2.$$

Wenn $u = c$ und $\alpha + \beta = 180$,
so wird $v = 0$.

A I und A K lassen sich, wenn γ den Winkel bezeichnet, den A B und A X bilden, ausdrücken durch
$$v \cdot \mathrm{Cos}\ \gamma = u \cdot \mathrm{Cos}\ \beta + c \cdot \mathrm{Cos}\ \alpha \quad \text{und}$$
$$v \cdot \mathrm{Sin}\ \gamma = u \cdot \mathrm{Sin}\ \beta - c \cdot \mathrm{Sin}\ \alpha$$
$$\text{oder } \mathrm{Tg}\ \gamma = \frac{u \cdot \mathrm{Sin}\ \beta - c \cdot \mathrm{Sin}\ \alpha}{u \cdot \mathrm{Cos}\ \beta + c \cdot \mathrm{Cos}\ \alpha}$$
für $u = c$ und $\alpha + \beta = 180$ oder $\beta = 180 - \alpha$,
wird $\mathrm{Tg}\ \gamma = 0$, d. h. $\gamma = 0$,
d. h. wenn v in Null übergeht, fällt die Richtung der absoluten Geschwindigkeit in die Richtungslinie A X und bildet wegen $\alpha + \beta = 180$ mit c sowohl als mit u einen rechten Winkel. —

Nr. 20.



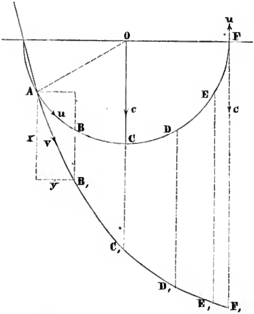
Man ersieht ferner aus Abbildung Nr. 20, daß v stets den Winkel halbirt, welchen die Geschwindigkeit c und u mit einander bilden, so lange $c = u$ angenommen werden, dieser Winkel C A D oder D A E kann spitz oder stumpf sein und es könnte auch ein rechter Winkel sein. —

Die bisherigen Formeln geben die Bedingungen an, unter welchen das Betriebswasser seine ganze Kraft an die Schaufeln einer Turbine abgeben kann, geben uns aber keinen Aufschluß, wie sich die Geschwindigkeiten c und u in irgend einem Punkte der Schaufel zu einander verhalten. —

Zu dem Ende ist noch erforderlich, den absoluten Weg des Wassers oder die Verzögerung auf dem letzten oder auch die Schaufel selbst für den Wasserlauf zu bestimmen. — Aus einem dieser Elemente lassen sich die übrigen ableiten. —

II. Der wahre oder absolute Weg, den ein Wassertropfen während seines Laufes längs einer kreisförmigen Rinne oder Schaufel beschreibt, welche mit der Geschwindigkeit c in gerader Linie zurückweicht, während die relative Geschwindigkeit des Wassertropfens u ist, findet man sehr leicht unter der Voraussetzung, daß c = u ist. — In derselben Zeit, in welcher der Wassertropfen den Bogen A B, Abbildung Nr. 21, durchlaufen hat, hat der Punkt B der Schaufel einen

Nr. 21.



Weg parallel O C beschrieben und da u = c sein soll, wird $B\,B_1$ = Bogen A B sein. — Man mache also $B\,B_1$ = Bogen A B, $C\,C_1$ = Bogen A C u. s. w., $E\,E_1$ = A E und verbinde die Punkte A B_1 C_1 D_1 E_1 durch eine Kurve, so stellt diese den absoluten Weg des bei A einströmenden Wassertropfens dar. —

Die Koordinaten des Punktes B_1 sind

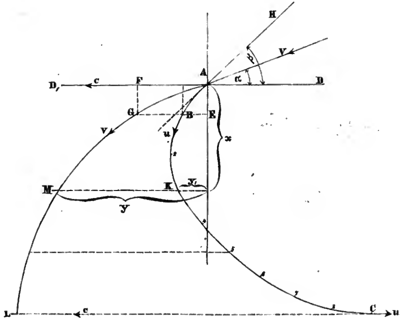
x und y,

welche ohne Weiteres am einfachsten durch Aufzeichnen zu finden sind.

Die Rinne, welche den vorgeschriebenen relativen Weg des Wassers bedingt, braucht nicht kreisförmig zu sein, jede andere stetig gekrümmte Rinne kann dafür eingesetzt werden, wenn nur ihr letztes Element in die Richtung der Geschwindigkeit c fällt, denn wenn die ausweichende Geschwindigkeit c = der relativen Geschwindigkeit u ist, so giebt das Wasser seine ganze Kraft ab, d. h. v ist gleich Null geworden, wenn c und u in gerader Linie liegen oder $\alpha + \beta = 180$ Grad sind. —

Wenn man also vorschreibt, daß die Geschwindigkeit v auf dem absoluten Wege gleich Null werden soll, so ist damit der absolute Weg selbst und auch die Form der Schaufel bestimmt, welche den relativen Weg des Wassers giebt, und es ist der einfachste Fall, wenn angenommen wird, daß die Verzögerung gleichförmig abnehmen soll, bis $v = 0$ geworden ist. —

Nr. 22.



Wenn in Abbildung Nr. 22 v die Geschwindigkeit eines Wasserstrahles, der gegen die Schaufel A C trifft, die in der Richtung $D D_1$ mit der Geschwindigkeit c zurückweicht, und α der Winkel, den v mit $D D_1$ bildet; so ist

$$A E = G F = v \cdot \sin \alpha$$
$$A F = v \cdot \cos \alpha.$$

Diese letzte Geschwindigkeit muß größer sein als c, mindestens $= c$ sein, weil sonst das Wasser die Schaufel nicht treffen würde, und es ist daher die relative Geschwindigkeit des Wassers in der Richtung der ausweichenden Schaufel

$$v \cdot \cos \alpha - c$$

und vertikal darauf

$$v \cdot \sin \alpha.$$

Daraus ergiebt sich die resultirende relative Geschwindigkeit u des Wassers an der Schaufel hin

$$u = \sqrt{v^2 \cdot (\sin \alpha)^2 + (v \cdot \cos \alpha - c)^2}$$
$$= \sqrt{v^2 - 2\,c\,v \cdot \cos \alpha + c^2} \qquad (1.)$$

une wenn β der Winkel, den die Richtung von u mit c bildet, so ist

$$u \cdot \sin \beta = A\,E = v \cdot \sin \alpha$$

$$\text{oder } \sin \beta = \frac{v \cdot \sin \alpha}{u} \qquad (2.)$$

Damit das Wasser ohne Stoß an die Schaufel tritt, muß A H Tangente des ersten Schaufelelementes bei A sein, es beginnt also jeder Wassertropfen seine Bewegung auf der ausweichenden Schaufel A K C mit der Geschwindigkeit u und setzt sie ohne Aenderung fort bis an den Endpunkt C der Schaufel.. — Soll nun die absolute Geschwindigkeit des Wassers beim Austritte gleich Null sein, so müssen die einander entgegengesetzten Richtungen von u und c in gerader Linie liegen und $u = c$ sein. — Setzt man dies in Gleichung (1.) ein, so ist

$$c = \sqrt{v^2 - 2\,c\,v \cdot \cos \alpha + c^2},$$

woraus folgt

$$c = \frac{v}{2 \cdot \cos \alpha}$$

und dies wieder anstatt u in die Gleichung (2.) gesetzt, ist

$$\sin \beta = \frac{v \cdot \sin \alpha}{\frac{v}{2 \cos \alpha}}$$
$$= 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha,$$

d. h. $= \beta = 2\,\alpha$,

was man auch unter Annahme $u = c$ ohne Weiteres aus der Konstruktion des Parallelograms wie bei Abbildung Nr. 20 finden konnte, denn v halbirt in diesem Falle den Winkel, welchen u und c mit einander bilden. —

Wenn nun A der Anfangspunkt der Koordinaten für die Schaufel und den absoluten Weg, so ist für den Punkt B der Schaufel

$$A\,E = x_1 \text{ und } E\,B = y_1$$

für den Punkt G des absoluten Weges ist

$$A\,E = x \text{ und } E\,G = y.$$

Da nun in derselben Zeit t, wo der Wassertropfen mit der Geschwindigkeit u an der Schaufel den Weg A B durchlaufen hat, der Punkt G mit der Geschwindigkeit c auch den Weg $B\,G = c\,t$ beschrieben hat, also seinen absoluten Weg A G gemacht hat, so erhält man für $u = c$

$$x = x_1 \text{ und } y = y_1 + c\,t.$$

Dieselben Beziehungen finden für den Punkt M des absoluten Weges statt; — d. h. bei gegebener Schaufelform findet man den absoluten Weg jedes Wassertropfens, wenn man durch Punkte B, F, C ꝛc. der Schaufel Parallelen mit der Richtung ihrer ausweichenden Geschwindigkeit zieht und diese wegen $u = c$ so lang macht

als die entsprechende Schaufellänge, nämlich B G = A B, K M = A B K, C L = A B K C 2c.; denn in derselben Zeit, in welcher ein Wassertropfen die Schaufel A B K C durchläuft, beschreibt auch der Endpunkt C den Weg C L. —

Nun soll, damit das Wasser seine ganze lebendige Kraft an die Turbine abgiebt, die absolute Geschwindigkeit beim Austritt gleich Null sein, d. h. u gleich und entgegengesetzt c und in gerader Linie liegend. — Deshalb wird, da c die ausweichende Geschwindigkeit der Schaufel, d. h. in Wirklichkeit bei einer Turbine die Umfangsgeschwindigkeit derselben ist, diese Geschwindigkeit c und die Form der Turbinenschaufel die Leistung der Turbine bestimmen. —

In der Praxis ist es nicht möglich, daß c und u in gerader Linie liegen, deshalb wird die absolute Geschwindigkeit nicht gleich Null werden können, und es wird also ein Theil der lebendigen Kraft des Wassers unbenutzt fortgehen. —

III. Geradlinig zurückweichende Schaufeln nehmen also die Kraft des sie durchfließenden Wassers vollständig auf, wenn die relative Geschwindigkeit entlang der Schaufel gleich ist der ausweichenden Geschwindigkeit derselben und wenn die Richtung des letzten Schaufelelementes zusammenfällt mit der Richtung der ausweichenden Bewegung der Schaufel, und es ist dann die Richtung des letzten Elementes des dabei beschriebenen absoluten Weges normal gegen die Bewegungsrichtung der Schaufel. Im Kreise umlaufende Schaufeln werden sich unter gleichen Voraussetzungen ebenso verhalten und wir können für das praktische Bedürfniß ziemlich einfache Schaufelformen erhalten, oder bei gegebener Schaufel den absoluten Weg konstruiren, wenn wir den Umfang des Kreises durch A, wo der Wasserstrahl eintritt, als jenen annehmen, der mit einer geradlinig zurückweichenden Schaufel gleiche Geschwindigkeit hat *). —

Wir wollen zuerst Schaufeln betrachten, deren Breite oder Höhe parallel der Turbinenaxe ist, diese Lage haben die Schaufeln bei Turbinen mit innerer oder äußerer Beaufschlagung. —

Es sei **Fig. 8, Taf. XXI**, O der Mittelpunkt eines Turbinenkranzes, der den innern Radius O A = r hat und den äußern Radius O B = R; der Winkel, unter welchem ein Wasserstrahl mit der Geschwindigkeit v bei innerer Beaufschlagung die Peripherie bei A trifft, sei α, alsdann ist ohne Weiteres $\beta = 2\,\alpha$ und daraus findet sich das erste Element der Schaufelkurve; den Austrittswinkel δ nehme man so klein als möglich und man sieht ohne Weiteres, daß die Richtungen von c_2 und u_2 nicht in gerader Linie liegen können, daß deshalb die absolute Austrittsgeschwindigkeit größer als Null. —

Man theile die Schaufelkurve A B in eine Anzahl gleicher Theile A I = I II = II III = III IV = IV V = V B; die Geschwindigkeit, mit welcher die Schaufel ausweicht, ist = c_1, die relative Geschwindigkeit an dem ersten Elemente der Schaufel = u_1 und beide sollen wieder gleich sein. — Die letztere wird hier veränderlich sein, und zwar zunehmen im Verhältniß der Radien, also am Ende des ersten Stückes

*) Schubert, Beitrag zur Berichtigung der Turbinentheorie.

gleich sein $c_1 \frac{O A_1}{O A}$; macht man also $A^1 = A I$ und zieht O^1 bis dieser Radius den durch I beschriebenen Bogen schneidet, so ist $A_1 1_0$ die relative Geschwindigkeit im Punkte I der Schaufel $= u_1 \frac{O A_1}{O A}$; und wenn man nun auf dem durch I beschriebenen Bogen das Stück $I I_0 = A_1 1_0$ abschneidet, so ist I_0 ein Punkt vom absoluten Wege des Wassertropfens, der bei A eintritt. —

In gleicher Weise findet man die Punkte II_0 III_0 IV_0 V_0 B_0, es ist beispielsweise Bogen $B B_0 = A_6 6_0 = (A I II III IV V B) \cdot \frac{O B}{O A}$ $= u_1 \frac{O B}{O A} = u_1 \frac{R}{r}$, und ebenso groß ist $c_2 = u_2 = \frac{R}{r} c_1$. — (Vergleiche auch **Fig. 9**, welches dieselben Buchstaben hat.)

Zieht man durch die Punkte $A I_0 II_0 III_0 IV_0 V_0 B_0$ eine stetige Kurve, so ist dies der absolute Weg des bei A eintretenden Wassertropfens; man sieht, daß die Kurve nicht normal zur Bewegungsrichtung ausgeht, und erhält auch ohne Weiteres durch Konstruktion des Parallelogramms die Größe der absoluten Austrittsgeschwindigkeit v_2, während die absolute Eintrittsgeschwindigkeit beim ersten Schaufelelement $v_1 = v$ ist. —

Mit Rücksicht auf die praktische Ausführung und weil der Wasserstrahl keine Linie, sondern eine bestimmte Stärke hat, können α und δ nicht gleich Null sein, man nimmt sowohl α als δ gewöhnlich innerhalb der Grenzen 15 bis 25 Grad, β ist dann bestimmt durch $2\,\alpha$. —

Genau ebenso ist die Konstruktion, wenn die Turbine von außen beaufschlagt wird, und zeigt dies **Fig. 9, Taf. XXI**, mit Beibehaltung derselben Buchstaben. —

Der Schaufelkurve A I II III IV V B entspricht der absolute Weg $A I_0 II_0 III_0 IV_0 V_0 B_0$; die $v_1 = v$ entsprechenden relativen Geschwindigkeiten c_1 und u_1 sind auch hier veränderlich, werden aber kleiner; es ist $c_2 = u_2 = c_1 \frac{O B}{O A} = c_1 \frac{r}{R}$. — Hieraus, so wie auch aus der graphischen Darstellung, ergiebt sich, daß die absolute Austrittsgeschwindigkeit v_2 kleiner wie vorher, was auch die Kurve des absoluten Weges zeigt, welche normaler zur Bewegungsrichtung ausgeht als vorher. —

Es bleiben jetzt noch die Schaufeln übrig, deren Breite oder Höhe rechtwinkelig auf die Turbinenaxe ist, diese Lage haben die Schaufeln bei Turbinen mit oberer Beaufschlagung. — Nennt man wieder R den äußern Radius, r den innern, R_0 den mittlern, so hat die Vorzeichnung der Kurven auf einer Cylinderfläche zu erfolgen, die man sich in einer Ebene abgewickelt denkt. — Es sei wieder **Fig. 10, Tafel XXI**, v die Geschwindigkeit des ankommenden Strahles, α, β, δ die bekannten Winkel, A I II III IV V B die Schaufelaxe, so braucht man nur, da R_0 konstant, also auch $u_2 = u_1$ und $c_2 = c_1$ bleibt, durch die einzelnen Punkte I II . . . Parallelen zu ziehen und diese so lang zu nehmen, als die entsprechenden Stücke der Schaufelaxe,

12 *

also $I\,I_0 = A\,I$ u. s. w. $B\,B_0 = A\,I\,III\,B$, so giebt die Kurve $A\,I_0\,II_0\,III_0\,IV_0\,V_0\,B_0$ wieder den absoluten Weg des Wasserstrahles, sowie durch das Parallelogramm ohne Weiteres die absolute Austrittsgeschwindigkeit v_2 erhalten wird. — Man sieht, daß v_2 hier den Mittelwerth zwischen beiden vorher gefundenen Werthen hat; d. h. es ist bei den Turbinen mit oberer Beaufschlagung v_2 größer als bei den Turbinen mit äußerer Beaufschlagung, und kleiner als bei den Turbinen mit innerer Beaufschlagung. —

§. 83.

Bestimmmung des Durchmessers, des Radkranzes, der Schaufelzahlen und Umdrehungen einer Turbine.

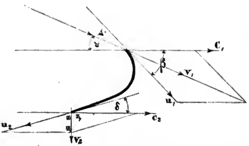
I. Ist h_0 die Pressungs- oder Wassermanometerhöhe in der Unterfläche des Leitrades, v_0 die wahre oder absolute Geschwindigkeit beim Austritt des Wassers aus dem Leitrade, H das absolute Gefälle, H_a die Höhe der Unterfläche des Leitrades über dem Unterwasserspiegel, so ist nach §. 81

$$h_0 + \frac{v_0^2}{2\,g} = H - H_a$$

$$v_0^2 = (H - H_a - h_0)\;2\;g$$

$$v_0 = \sqrt{2\,g\,(H - H_a - h_0)}.$$

Nr. 23.



Wenn nun die absolute Eintrittsgeschwindigkeit eines Turbinenrades $v_1 = v_0$ sein soll, so ergiebt sich bei den Winkeln α und β in Abbildung Nr. 23, ganz allgemein aus dem Parallelogramm

$$v_1 : c_1 = \operatorname{Sin}\,(2\,R - \beta) : \operatorname{Sin}\,(\beta - \alpha)$$

$$v_1 : u_1 = \operatorname{Sin}\,(2\,R - \beta) : \operatorname{Sin}\,\alpha,$$

also $c_1 = v_1\,\dfrac{\operatorname{Sin}\,(\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin}\,\beta}$

$$u_1 = v_1\,\frac{\operatorname{Sin}\,\alpha}{\operatorname{Sin}\,\beta}.$$

Wenn aber $\beta = 2\,\alpha$, so ist noch einfacher

$$c_1 = u_1 = \frac{v_1}{2 \cdot \operatorname{Cos}\,\alpha} \text{ oder } v_1 = 2\,u_1\,\operatorname{Cos}\,\alpha.$$

Ferner ist wieder, wenn $c_2 = u_2$ oder Winkel $z = z_1$

$$v_2 = 2\,u_2 \cdot \operatorname{Cos}\,z$$

oder da $z = \frac{2R - \delta}{2} = R - \frac{\delta}{2}$

$$\text{Cos } z = \text{Sin } \frac{\delta}{2}$$

$$\text{also } v_2 = 2\, u_2 \cdot \text{Sin } \frac{\delta}{2}.$$

Der absoluten Austrittsgeschwindigkeit v_2 entspricht ein Gefällverlust

$$\frac{v_2^2}{2g} = 0{,}05 \cdot H,$$

welcher Werth natürlich nur als Mittelwerth zu betrachten ist, wenn der hydraulische Wirkungsgrad etwa 75 % beträgt, ein Werth, der für jede Turbine variiren wird (vergl. §. 86).

II. Der Durchmesser einer Turbine und die normalen Querschnitte der Kanäle sind von einander abhängig, der Art, daß, wenn Q die Wassermenge, so erhält man den erforderlichen Gesammtquerschnitt aller Leitradkanäle beim Austritt des Wassers aus diesem

$$F_0 = \frac{Q}{v_0}$$

und es ist $F_0 = d_0\, e_0\, a_0$
wenn a_0 die Zahl der Leitradschaufeln
d_0 die normale Weite zwischen 2 Schaufeln
e_0 die Breite oder Höhe des Rades.

Obschon nun also der Durchmesser innerhalb ziemlich weiter Grenzen beliebig wäre, weil die Querschnitte der Kanäle darnach anzunehmen sein würden, hängt der Durchmesser der Turbine doch von der Wassermenge ab. — Wenn man annimmt, daß das Aufschlagwasser in einem Rohre der Turbine zugeführt oder von derselben fortgeführt würde, so würde bei Turbinen mit innerer Beaufschlagung das Zuführungsrohr, bei denen mit äußerer Beaufschlagung das Abführungsrohr den innern Durchmesser des Turbinenrades bestimmen; bei denen mit oberer Beaufschlagung könnte man anfänglich den Durchmesser dieses Rohr dem mittlern Turbinendurchmesser gleich setzen. —

Den Durchmesser dieses Rohres bestimmt man nun so, daß das Wasser nicht mehr als höchstens 1 Meter oder circa 3 Fuß Geschwindigkeit pro Sekunde in demselben hat; so daß also, wenn Q in Kubikfußen und ϑ in Fußen pro Sekunde genommen wird,

$$\tfrac{1}{4}\, \pi\, \vartheta^2 \cdot 3 = Q,$$

$$\text{woraus } \vartheta = 0{,}652\, \sqrt{Q}.$$

Es würde nun für innere und äußere Beaufschlagung der innere Radius $r = \frac{\vartheta}{2}$ sein; — für obere Beaufschlagung $R_0 = \frac{\vartheta}{2}$. —

Für Metermaß kann man auch die Formel

$$R_0^2 = 0{,}45 \text{ bis } 0{,}55 \cdot \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

benutzen.

Hat man durch Rechnung dieses erste Maß gefunden, so bestimmt man am besten nach Erfahrung und Gefühl R und r und man nimmt

bei kleinen Gefällen und viel Wasser $R = 1{,}5\ r$ oder $r = \frac{2}{3}\ R$.
bei großen „ „ wenig „ $R = 1{,}2\ r$ oder $r = \frac{5}{6}\ R$.

Bei den Turbinen mit oberer Beaufschlagung wird noch die Tiefe des Turbinenrades **Fig. 5, Taf. XXIII**, im Allgemeinen

$$t = \tfrac{1}{2}\ R \text{ bis } \tfrac{2}{3}\ R$$

und beim Leitrade $t_1 = t$ oder etwas kleiner angenommen. —

Ebenso ist die Summe aller normalen Querschnitte beim Eintritte des Wassers ins Turbinenrad

$$F_1 = \frac{Q}{u_1} \text{ und } F_1 = a_1\ d_1\ e_1,$$

so wie beim Austritte des Wassers aus dem Turbinenrade

$$F_2 = \frac{Q}{u_2} \text{ und } F_2 = a_1\ d_2\ e_2,$$

wo $a_1\ d_1\ e_1$ und $a_1\ d_2\ e_2$ } die entsprechenden Bezeichnungen zu $a_0\ d_0\ e_0$.

Das Verhältniß von u_2 zu u_1 ist aus §. 82 III. zu entnehmen.

Da mit der Weite der Kanäle die richtige Führung der einzelnen Wasserfäden abnimmt, ist es nicht gut, zu wenig Schaufeln zu nehmen, andererseits aber vermehren viele Schaufeln die Bewegungswiderstände und zertheilen den kontinuirlichen Wasserstrom allzusehr; wozu noch kommt, daß sich die Kanäle desto leichter verstopfen, je enger sie sind. — Man kann die Formel $a_1 = 10 \cdot \frac{R}{t}$ benutzen, nimmt aber für das Turbinenrad bei kleinen Turbinen nicht unter 12 Schaufeln, bei größern wohl nicht über 40 Schaufeln. — Bei den im Atlas gezeichneten Turbinen ist die Schaufeltheilung, d. h. die Entfernung zweier Schaufeln zwischen 6 — 10 Zoll.

Bei oberer Beaufschlagung muß die Summe der horizontalen Kanalweiten des Leitrades eben so groß sein, als die Summe der horizontalen Kanalweiten des Turbinenrades, bei innerer oder äußerer Beaufschlagung sind die Kanalweiten an der Peripherie zu messen.

Es ist

$$d_0\ e_0\ a_0\ v_0 = d_1\ e_1\ a_1\ u_1.$$

Da nun an der Uebergangsstelle $e_0 = e_1$, so ist

$$d_0\ a_0\ v_0 = d_1\ a_1\ u_1,$$

ferner ist für $v_1 = v_0$ (nach I dieses Paragraphen)

$$v_0 \operatorname{Sin} \alpha = u_1 \operatorname{Sin} \beta.$$

Dividirt man die vorige Gleichung durch die letzte, so entsteht

$$\frac{d_0\ a_0}{\operatorname{Sin}\ \alpha} = \frac{d_1\ a_1}{\operatorname{Sin}\ \beta}.$$

Bei gleichen horizontalen Kanalweiten ist aber auch

$$\frac{d_0}{\operatorname{Sin}\ \alpha} = \frac{d_1}{\operatorname{Sin}\ \beta}.$$

Nimmt man die Schaufeldicken in beiden Rädern gleich, so verhält sich

$$\frac{a_0}{a_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \text{*)}.$$

Wir haben noch den Spielraum zwischen Leit- und Turbinenrad anzuführen. Derselbe wird häufig in einem Verhältniß zum Radius ausgedrückt, was aber gar nicht motivirt ist. — Praktisch ist es, denselben ohne alle Rechnung so klein als möglich zu nehmen, d. h. so klein, als es die Genauigkeit bei der Herstellung der Turbine irgend erlaubt. — Bei guten Turbinen hat man nur ⅛ Zoll oder 3 Millimeter Spielraum, es wird selten weniger genommen werden können. — Je größer der Spielraum, desto mehr geht Wasser verloren, desto geringer ist also die Leistung. —

III. Aus der relativen Geschwindigkeit c_1 ergiebt sich die Umdrehungszahl pro Minute einer Turbine mit oberer Beaufschlagung

$$\frac{2 \pi R_0 n}{60} = c_1 \text{ oder } n = \frac{9{,}55 \cdot c_1}{R_0}$$ Fig. 5, Taf. XXIII.

bei innerer Beaufschlagung

$$\frac{2 \pi r n}{60} = c_1 \text{ oder } n = \frac{9{,}55 \cdot c_1}{r}$$ Fig. 6, Taf. XXIII.

bei äußerer Beaufschlagung

$$\frac{2 \pi R n}{60} = c_1 \text{ oder } n = \frac{9{,}55 \cdot c_1}{R}$$ Fig. 7, Taf. XXIII.

Mit Bezug auf Abbildung Nr. 23 ist

$$c_1 = v_1 \frac{\sin (\beta - \alpha)}{\sin \beta}$$

und man kann ferner setzen

$$v_1 = v_0 = 0{,}95 \sqrt{2 g H}.$$

Es ist gut, den erhaltenen Werth von c_1 auch noch mit 0,95 zu multipliciren, sodann erhält man also

$$c_1 = 0{,}90 \frac{\sin (\beta - \alpha)}{\sin \beta} \cdot \sqrt{2 g H}.$$

Bei numerischen Rechnungen ist dieser Werth noch nach §. 86, Gleichung (4.) zu korrigiren. —

Dies in die obigen Formeln eingesetzt, giebt die Umdrehungszahlen pro Minute. —

IV. Wenn die Wassermenge so klein ist, daß die vorstehenden Rechnungen Dimensionen ergeben, welche praktisch unbrauchbar sind, nimmt man keine Vollturbinen, sondern Partialturbinen. —

Der Durchmesser eines solchen Rades kann in ziemlich weiten Grenzen variiren; man wählt ihn deshalb so, daß die von demselbigen abhängige Anzahl der Umdrehungen für die ganze Anordnung der

*) Diese Formel gilt allerdings nur unter der Annahme, daß die Summe der Mündungen des Leitrades gleich der Summe der Eintrittsöffnungen des Turbinenrades sein müsse, damit der Uebergang des Wassers mit ungeänderter Geschwindigkeit stattfinde; während eine fortdauernd wiederkehrende Verengung unvermeidlich ist bei der Drehung des Turbinenrades. —

Transmission am günstigsten ausfällt, ohne daß das Tangentialrad eine zu große Geschwindigkeit erhält, aus Rücksicht für die solide Aufstellung und Abnutzung.

Man kann auch für Metermaß die Formel

$$R^2 = 4{,}5 \text{ bis } 5{,}5 \cdot \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

benutzen, wobei R der äußere Halbmesser.

Die Höhe des Rades, welche zur Verminderung des Wasserverlustes immer etwas größer als die Höhe der Schützöffnung genommen wird, findet sich nebst den Schaufelwinkeln, der Schaufelzahl und der Anzahl der Umdrehungen in derselben Weise, wie für die Vollturbinen. —

Die Partialturbinen haben den großen Vortheil, fast offen zu sein, man kann sie also leicht untersuchen und reinigen; aber sie können sich keinem variablen Unterwasser akkomodiren, weil sie nicht unter Wasser gehen können. — Dies ist nur möglich mit Anwendung der Hydropneumatisation. —

§ 84.

Aufzeichnen der Schaufeln.

Die bisherigen Kurven können nur als Mittellinien oder Axen des Wasserstrahles gelten, da ja der Wasserstrahl keine bloße Linie ist, sondern eine bestimmte Stärke hat. — Hat man also zunächst aus der disponiblen Wassermenge Q die Dimensionen des Turbinenkranzes und die Zahl der Schaufeln durch die Rechnungen des vorigen Paragraphen bestimmt oder nach Erfahrung angenommen, so sind jetzt noch die Schaufeln zu verzeichnen.

I. Leitrad.

Der Eintritt des Wassers in das Leitrad erfolgt je nach der Art der Beaufschlagung entweder normal zur Radebene wie **Fig. 5. 8. 9.** oder normal zum Umfange wie **Fig. 6.** und **7. Taf. XXIII.** — Damit das Wasser die Richtung erhält, welche durch den Winkel α gegeben ist, ist der unterste Theil der Leitradschaufeln gradlinig und parallel dem graden Stück der Kanalaxe anzunehmen. — Der Bogen der Kanalaxe ist nach einen Kreisbogen zu formen, der an der Zutrittseite des Wassers radial oder normal ausgeht, und für welchen an der Seite nach dem Turbinenrade, also am Austritt des Leitrades die Linie, welche den Winkel α bestimmt, eine Tangente ist. — Die untersten Enden werden parallel zu AD in dem Abstande $\frac{d_0}{2}$ zu beiden Seiten der Axe abgetragen, **Fig. 5 und 8.** — In der Regel macht man die Leitschaufeln von gleicher Stärke, so daß allerdings die aufeinander folgenden Querschnitte von D bis C nicht stetig zunehmen; will man dies letztere, so erhält die Leitschaufel eine verschiedene Stärke, und dennach eine Form wie **Fig. 8. Taf. XXIII.** zeigt. —

II. Turbinenrad mit Schaufeln, bei welchen β ein spitzer Winkel.

Der einfachste Weg zur Konstruktion der Schaufeln, nachdem der absolute Weg $A\ I_0\ II_0\ III_0\ B_0$ eines Wassertheilchens, welches die Kanalaxe bei A trifft; **Fig. 4 Taf. XXIII** für obere Beaufschlagung, verzeichnet worden ist, wäre der, daß man unter Voraussetzung eines kontinuirlichen Wasserstrahles von der Stärke d denselben zu beiden Seiten des absoluten Weges auftrüge, und nun rückwärts die Begrenzungen der Schaufelkanäle konstruirte, d. h. die relativen Wege, welche den äußersten Elementen des Wasserstrahles entsprechen. Dies giebt 2 von einander verschiedene Kurven $A_1\ b_1\ B_1$ und $A_{11}\ b_{11}\ B_{11}$, keineswegs gleiche, und dies führt ohne Weiteres zu Schaufeln mit Rückschaufeln. —

Man erhält durch dieses Verfahren die normalen Entfernungen d_1 und d_2; diese letztere Dimension fällt etwas sehr klein aus, so daß die Kanäle sich nicht blos leicht verstopfen würden, sondern auch die Dimension $e_2 = \frac{F_2}{a_1\ d_2}$ sehr groß ausfallen würde, wodurch die Ausführung des Rades erschwert wird.

Man sieht aus derselben Figur ferner, daß der benachbarte Strahl I, selbst wenn die Schaufel unendlich dünn angenommen, bei Konstruktion seines absoluten Weges einen keilförmigen Raum läßt. —

Für die praktische Ausführung einer Turbine mit oberer Beaufschlagung würde man die Verhältnisse in **Fig. 5. Taf. XXIII** wählen, für $\alpha = 15 - 25^0$ ist hier $22\frac{1}{2}^0$ gesetzt, so daß sich also $\beta = 2\alpha = 45^0$ ergiebt; δ ist im Mittel zu 25^0 angenommen. — Die Kanalaxe oder der mittlere relative Weg ist dann durch die Kurve A b B gegeben und die konkave Kurve ist $A_{11}\ b_{11}\ B_{11}$ die konvexe $A_1\ b_1\ B_1$; die absoluten Wege der Wasserelemente, welche bei $A\ A_1$ und A_{11} ankommen, sind dargestellt durch die Kurven $A\ B_0$, $A_1\ B_1{}^0$ und $A_{11}\ B_{11}{}^0$ und man ersieht, daß die Fläche dieser absoluten Wasserwege eine vom Eintritt bis zum Austritt stetig zunehmende Breite hat; der keilförmige Raum zwischen $A_{11}\ B_{11}{}^0$ und A_{11} L bleibt auch hier bestehen. —

Es ist zuerst die Stellung angenommen, wo die Schaufelstöße untereinander stehen, daneben die entgegengesetzte Stellung. Man sieht, daß dann sowohl im Leitrad wie im Turbinenrade eine Störung der Wasserfäden stattfindet, was durch die Schraffirung angedeutet ist, und diese Störung ist als Folge der drehenden Bewegung des Rades unvermeidlich. —

Fig. 6. und 7. Taf. XXIII zeigen dieselbe Konstruktion für Turbinen mit innerer wie äußerer Beaufschlagung unter Beibehaltung derselben Winkel und Buchstaben. —

Fig. 8 Taf. XXIII zeigt noch die Verschaufelung einer Turbine mit oberer Beaufschlagung nach den Angaben des Ministerialraths v. Rittinger in seinem oben angeführten Buche. — Es ist $\alpha = 14^0$, $\beta = 180 - 156 = 24^0$, $\delta = 29^0$ und sind gleiche normale Kanalweiten angenommen, welche beim Ein- und Austritt noch etwas erweitert sind.

Da dieselben Buchstaben gewählt sind, braucht die Figur keine nochmalige Erklärung als die Bemerkung, daß die keilförmigen Räume zwischen den Kurven A_{11} $B_{11}{}^0$ und A_{11} L etwas kleiner ausfallen, anderseits aber auch, weil δ größer als vorher, wird die absolute Austrittsgeschwindigkeit v_2 größer sein als vorher, wenn sonst wieder $c_2 = u_2$ genommen wird.

III. Turbinenrad mit Schaufeln, bei welchen β ein stumpfer oder rechter Winkel ist.

Wir haben nach den gewöhnlichen Angaben, daß für diese Schaufelkonstruktion, welche man für die sogenannten Reaktionsturbinen in Anwendung bringt, das Verhältniß der Winkel α und β in ziemlich weiten Grenzen beliebig sei und daß α und δ kleiner sein können als bei Turbinen mit sogenannten Druckschaufeln, in **Fig. 9a Taf. XXIII** eine solche Turbinenschaufelung mit oberer Beaufschlagnng verzeichnet; es ist $\alpha = 18^0$ $\beta = 110^0$ und $\delta = 20^0$. — Man sieht darin die Kanalaxe A I III . . B, die absoluten Wege A B_0 A_1 $B_1{}^0$ A_{11} $B_{11}{}^0$ die Wasserelemente welche bei A A_1 und A_{11} ankommen; keilförmige Räume bilden sich also nicht, dies zeigen die benachbarten Kurven A_{11} $B_{11}{}^0$ und A_{11} L, aber es tritt der andere Uebelstand ein, daß die Leitschaufeln nicht mehr Tangenten an die absoluten Wasserwege sind, der Wasserstrahl bricht sich und das Wasserelement, welches bei A_1 an der konvexen Kurve hingehen will, kommt zu dem Wassertheilchen, welches bei A_{11} an der konkaven Kurve hingehen will, plötzlich in eine ganz andere Entfernung, es ergiebt sich auch in **Fig. 9a** unter sonst gleichen Anahmen d_0 größer als vorher, wenn also die Turbine über Wasser geht und die Zelle nur theilweise beaufschlagt ist, kann der Wasserstrahl die Zelle nicht mehr ausfüllen und das Wasser verspritzt sich, wodurch ein Arbeitsverlust entsteht. Derselbe findet nicht statt beim Unterwassergange und normaler Wassermenge mit voller Beaufschlagung, wo die Turbine mit Reaktion arbeitet. —

Wenn man die graphische Darstellung **Fig. 9a** näher betrachtet, sollte man entgegen der gewöhnlichen Annahme behaupten dürfen, daß das Verhältniß der Winkel α und β durchaus kein willkürliches sei, sondern daß es sich empfehle, bei dem Leitrade einer solchen Turbine die Schaufeln desselben am Austritt als Tangenten der absoluten Wasserwege anzunehmen, welche sich unter der Voraussetzung $u = c$ durch Konstruktion ergeben, nachdem Winkel β beliebig angenommen, der indeß wohl am besten innerhalb der Grenzen 90 bis 120 Grad gewählt würde. — Es halbirt dann wieder wie in **Fig. 9b Taf. XXIII** v_1 den Winkel, welchen u_1 und c_1 bilden, die einander gleich sind und es ist $\beta = 2\ \alpha$. — Aehnliche Schaufelstellungen finden sich auch hier und da angegeben, ohne dieses Verhältniß von β zu α besonders hervorzuheben; am deutlichsten ausgeführt findet sich solche Schaufelanordnung in **Fig. 11 Taf. XX** bei der Turbine, welche Girard zu Maureix angelegt hat. —

IV. Vergleichung und Resultate.

Die vorstehend besprochenen graphischen Darstellungen wie die Berechnungen führen unter Bezugnahme auf das schon bei der Beschreibung der Turbinen Gesagte zu folgenden wichtigen Sätzen:

1) Die Schaufeln der sogenannten Reaktions- und Druckturbinen unterscheiden sich dadurch von einander, daß bei derselben Höhe des Turbinenrades der absolute Weg, der zurückzulegen ist bis v_1 in v_2 übergegangen ist, in den erstern sich kürzer ergiebt als in den letztern, und daß dieser Uebergang von v_1 in v_2 wegen des kleinern Winkels β bei den letztern allmäliger statt findet als bei den erstern, wogegen die absoluten Wege der Wasserelemente in den erstern Turbinen keine leeren keilförmigen Räume zwischen sich lassen und auch gegen den Wasseraustritt hin die Fläche zwischen den absoluten Wegen nicht viel breiter wird als beim Eintritt. — Hierdurch wäre dann wohl die Thatsache zu erklären, daß der Wirkungsgrad bei den Turbinen mit Schaufeln, wo $\beta >$ als ein rechter Winkel ist, weniger durch rückstauendes Wasser abnimmt als bei den Turbinen mit Schaufeln, wo $\beta <$ als ein rechter Winkel ist; dagegen nimmt der Wirkungsgrad bei den letztern nicht erheblich ab bei kleiner werdenden Wassermengen, weil bei diesen Turbinen wegen des sehr allmäligen Auseinandergehens von u_1 v_1 und c_1 ein Verspritzen des Wassers nicht so leicht eintritt und nicht so schädlich wirkt als bei den ersten. —

Bei jeder Turbine mit theilweiser Beaufschlagung hängt der Wirkungsgrad übrigens wesentlich von der Art der Schützenvorichtung ab. —

2) Die Turbinen geben den größten Wirkungsgrad, wenn man sie am tiefsten Punkte des Gefälles aufstellen kann, unmittelbar über dem Unterwasserspiegel frei ausgießen läßt und dem Zusammenhange des Wasserstrahles entsprechend mit Rückschaufeln konstruirt. — Solche Turbinen können mit gleichem Wirkungsgrade bei voller wie partialer Beaufschlagung arbeiten. —

3) Bei stauendem Unterwasser werden Rückschaufeln allein noch nicht vollständig ausreichen, obschon der Arbeitsverlust klein bleibt, so lange die Turbinen voll beaufschlagt sind, der Wirkungsgrad vermindert sich bei partialer Beaufschlagung und Stauwasser, weil dann die ankommenden Wasserstrahlen mit Stoß auf dasjenige Unterwasser treffen, mit welchem sich das Turbinenrad füllt, während es unter den geschlossenen Leitzellen vorübergeht. —

4) Durch Hydropneumatisation kann diesem Uebelstande abgeholfen werden, wodurch auch die Reibung der Turbine im Unterwasser wegfällt, welche namentlich bei vielen Schaufeln von vornherein zugestanden werden muß ohne eine besondere Rechnung — Da jedoch bei der Hydropneumatisation die komprimirte Luft einer bestimmten Wassersäule das Gleichgewicht hält, wird die Anwendung derselben unmöglich sein, wenn bei Stauwasser das Gefälle sich so weit vermindert, daß der Druck der übrig bleibenden Wassersäule kleiner wird als der Druck der komprimirten Luft. Wo man solche Verhältnisse vorherrschend findet, sind Schraubenturbinen mit horizontaler Welle am Platze. —

5) Der größtmöglichste Wirkungsgrad einer Turbine ist nur vom Kostenpunkte abhängig, obschon auch bei Hydropneumatisation eine vollständige Ausnutzung der lebendigen Kraft des Wassers unmöglich ist, wegen der unvermeidlichen Störungen der Wasserfäden durch die Schaufeln der sich drehenden Turbine. —

6) Da ungünstige Wasserverhältnisse nicht das ganze Jahr stattfinden werden, läßt sich mit geringern Anschaffungskosten auch schon ein gutes Resultat erreichen, wenn die Turbinen am tiefsten Punkte des Gefälles aufgestellt werden können, vorherrschend frei über Unterwasser ausgießen und mit Abtheilungen sowie mit Rückschaufeln konstruirt sind. — Solche Turbinen mögen vorübergehend auch bei kleinen Wassermengen mit partialer Beaufschlagung arbeiten, obschon der Wirkungsgrad etwas abnimmt. —

7) Wo lokale Verhältnisse Turbinen erfordern, die in das Gefälle eingeschaltet werden oder vorherrschend im Unterwasser gehen, kann man auch einfache Schaufeln, wo $\beta \geq$ rechter Winkel, und dabei das Rad mit Abtheilungen konstruiren; jedoch nimmt an solchen Turbinen bei wenig Wasser und partialer Beaufschlagung der Wirkungsgrad erheblich ab. —

8) Bei Turbinen mit äußerer Beaufschlagnng ist unter sonst gleichen Verhältnissen die absolute Austrittsgeschwindigkeit am kleinsten. — Sie empfehlen sich als Vollturbinen für wenig Gefälle bei großen Wassermengen, und als Partialturbinen für hohes Gefälle bei wenig Wasser. —

9) Für Turbinen, die in das Gefälle eingeschaltet werden, empfehlen sich am meisten Turbinen mit oberer Beaufschlagung. —

10) Schützenvorrichtungen, welche so konstruirt sind, daß bei abnehmender Wassermenge alle Leit-Zellen gleichzeitig in ihrem Querschnitte verengt werden, wirken ungünstiger als solche Schützen, welche einen Theil der Zellen ganz schließen und nur so viele geöffnet halten, daß diese sich vollständig füllen bei der kleinern Wassermenge. — Es ist ungünstig, den Querschnitt der einzelnen Leitzelle zu verringern, wenn der Querschnitt der Radzelle unverändert bleibt. —

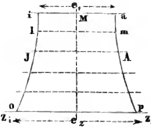
§. 85.

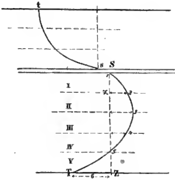
Herstellung der Schaufeln.

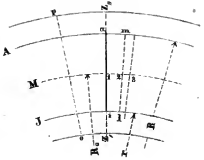
Nachdem die Durchschnitte der Schaufelkurven bestimmt sind, sind die Schaufeln selbst bei Turbinen mit innerer und äußerer Beaufschlagung ohne Weiteres gegeben, da dieselben einfach gekrümmte Flächen sind; man braucht also nur die Höhe der Leitschaufel bei s, Abbildung Nr. 24, gleich e_0 zu nehmen, die Höhe der Turbinenradschaufel bei $S = e_1$ und bei $T = e_2$, d. h. ein Stück Bloch von der Länge der Kurve S T und den Breiten e_1 und e_2 giebt sofort die Turbinenradschaufel, die man auf einer Schablone zu biegen hat, und der dann nur noch die Zapfen oder Ränder zur Befestigung im Rade fehlen. —

Die Schaufeln bei Turbinen mit oberer Beaufschlagung sind windschiefe Flächen, die auf folgende Weise hergestellt werden können:

Nr. 24.







Man arbeitet ein Stück Holz aus, das die Dimensionen eines Theiles vom Radkranze hat, und theilt dasselbe, Abbildung Nr. 24, in horizontalen Schichten I II . . . V; — verzeichnet auf die obere Fläche, den dem mittlern Radius R_0 entsprechenden Bogen M, und es sind dann I, M und A entsprechende Bogenstücke der innern, mittlern und äußern Cylinderoberfläche.

Man bezeichne nun aus der vorher angefertigten Zeichnung der mittlern Schaufelkurve den Punkt 1 auf der obern Fläche der Schicht I, ziehe die Linie a 1 i radial und der Linie 1 z auf der Zeichnung entsprechend, am Holzmodell von i aus an der I-fläche die vertikale Linie $i\ z_i$ und von a aus an der A-fläche die vertikale $a\ z_a$. — An der obern Fläche der II. Schicht markiren sich dadurch Punkte, die durch eine radiale Linie verbunden, die entsprechende Stelle der Linie a 1 i auch auf dieser zweiten Schicht bestimmen, nachdem vorher noch auf derselben der mittlere Bogen M aufgerissen wurde. — Nimmt man nun aus der Zeichnung das Stück x 2 und trägt es nach der entsprechenden Seite auf der obern Fläche der II. Schicht ab, zieht wieder einen Radius (was sehr einfach auf einem Reißbret erfolgt, auf welches das Bogenstück richtig gelegt wird), so markiren sich an der I-fläche der Punkt l und an der A-fläche der Punkt m. — So wird bei allen Schichten verfahren. —

Die Punkte i l . . . . o sind nun die der mittlern Schaufelkurve ST mit den Punkten 1 — 2 — 3 — . . . 6 entsprechenden Punkte an der I-fläche, sowie a m . . . p die entsprechenden Punkte der A-fläche sind. Nachdem diese Punkte an beiden Flächen vorher deutlich markirt wurden, legt man die Schichten I II . . . wieder übereinander, so daß die einzelnen Punkte der durch i und a gezogenen Vertikalen

wieder übereinander fallen, also die Linien selbst wieder hergestellt sind, und man braucht jetzt nur noch an der J-fläche wie A-fläche die markirten Punkte durch Kurven zu verbinden, und das Modellstück darnach auszuarbeiten, woraus sich die wirkliche Form und Größe der Schaufeln ergiebt, die man ebenfalls wieder mit Zapfen oder Rändern zur Befestigung im Rade versieht. —

Selbstverständlich ist das Verfahren fürs Leitrad dasselbe, so wie auch die Rückschaufeln in gleicher Weise hergestellt werden. —

Das Material der Schaufeln ist entweder Eisenblech oder Gußeisen, wonach die Stärke und Befestigungsweise 2c. sich richtet. —

§. 86.

Berechnung der Leistung einer Turbine.

Bezeichnet

t die Radhöhe,

H das absolute Gefälle,

H_u die Höhe der Unterfläche des Rades über dem Wasserspiegel,

w den Gefällverlust bis zum Leitrad in Folge der Bewegungswiderstände des Wassers,

v_0 die wahre oder absolute Geschwindigkeit beim Austritt aus dem Leitrade,

h_0 die Wassermanometerhöhe (Pressungshöhe) an diesem Punkte,

w_0 den Verlust beim Austritt an diesem Punkte,

v_1 die absolute Geschwindigkeit beim Eintritt ins Turbinenrad ($v_1 \lessgtr v_0$),

u_1 die relative Geschwindigkeit nach der Richtung des Schaufelelementes,

h_1 die Wassermanometerhöhe beim Eintritt ins Turbinenrad,

w_1 den Verlust an diesem Punkte,

v_2 die absolute Austrittsgeschwindigkeit aus dem Turbinenrade,

u_2 die relative Austrittsgeschwindigkeit des Wassers,

h_2 die Wassermanometerhöhe, w_2 den Verlust } beim Austritt,

v_3, h_3, w_3 } die entsprechenden Werthe für das Röhrenstück unterhalb der Turbine,

v_4, h_4, w_4 } die entsprechenden Werthe beim Austritt aus diesem Röhrenstück,

so erhält man mit Rücksicht auf §. 81 und 83*)

$$h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = H - H_u - t - w$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} - w_0$$

$$h_2 + \frac{u_2^2}{2g} = h_1 + \frac{u_1^2}{2g} + t - w_1$$

*) Gustav Schmidt, Zur Turbinentheorie: Oesterr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, 1860. — Polytechn. Centralblatt 1860.

$$h_3 + \frac{v_3^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} - w_2$$

$$h_4 + \frac{v_4^2}{2g} = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + H_a + h_1 - w_3$$

$$h_1 = h_4$$

$$w_4 = \frac{v_4^2}{2g}$$

Die Addition der sämmtlichen Gleichungen ergiebt nach einfacher Reduktion und Streichen der gemeinschaftlichen Werthe beider Seiten

$$\frac{v_1^2 + u_2^2}{2g} + w_4 = H - w - w_0 - w_1 - w_2 - w_3 + \frac{v_2^2 + u_1^2}{2g}$$

$$v_1^2 - u_1^2 + u_2^2 - v_2^2 = 2g\,(H - \Sigma w) = 2gH\left(1 - \frac{\Sigma w}{H}\right)$$

Nun ist $1 - \frac{\Sigma w}{H} = \lambda$

der hydraulische Wirkungsgrad der Maschine ohne Rücksicht auf Zapfenreibung; man erhält also

$$v_1^2 - u_1^2 + u_2 - v_2^2 = \lambda \,.\, 2gH \qquad (1.)$$

Wenn α der Winkel der Leitradschaufel, und die Richtung v_1 und v_0 in gerade Linie fallen,

β der Winkel der Turbinenschaufel (vergl. Abbildung Nr. 23 und **Fig. 5 und 9b Taf. XXIII)**,

c_1 die Peripheriegeschwindigkeit an der Eintrittsseite des Turbinenrades (am mittlern Halbmesser R_0 für eine Turbine mit oberer Beaufschlagung),

δ der Austrittswinkel der Radschaufel,

so ist:

$$v_1^2 = u_1^2 + c_1^2 - 2u_1c_1 \,.\, \mathrm{Cos}\,(2R - \beta)$$
$$= u_1^2 + c_1^2 + 2u_1c_1\ \mathrm{Cos}\,\beta$$
$$v_2^2 = u_2^2 + c_1^2 - 2u_2c_1\ \mathrm{Cos}\,\delta$$

folglich durch Subtraktion

$$v_1^2 - u_1^2 + u_2^2 - v_2^2 = 2c_1\,(u_1\,\mathrm{Cos}\,\beta + u_2\,\mathrm{Cos}\,\delta)$$

oder wegen (1.) auch

$$c_1\,(u_1\ \mathrm{Cos}\,\beta + u_2\ \mathrm{Cos}\,\delta) = \lambda \,.\, gH \qquad (2.)$$

Ferner verhält sich nach Abbildung Nr. 23.

$$u : c_1 = \mathrm{Sin}\,\alpha : \mathrm{Sin}\,(\beta - \alpha)$$

$$u_1 = c_1 \,.\, \frac{\mathrm{Sin}\,\alpha}{\mathrm{Sin}\,(\beta - \alpha)}.$$

$$u_2 : c_2 = \mathrm{Sin}\,z_1 : \mathrm{Sin}\,z$$

$$u_2 = c_2\,\frac{\mathrm{Sin}\,z_1}{\mathrm{Sin}\,z}$$

Für eine Turbine mit oberer Beaufschlagung ist $c_2 = c_1$, so daß

$$u_2 = c_1 \cdot \frac{\operatorname{Sin} z_1}{\operatorname{Sin} z}$$

Diese Werthe in (2.) eingesetzt, erhält man

$$c_1 \left(\operatorname{Cos} \beta \cdot c_1 \frac{\operatorname{Sin} \alpha}{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)} + \operatorname{Cos} \delta \; c_1 \frac{\operatorname{Sin} z_1}{\operatorname{Sin} z} \right) = \lambda g \cdot H$$

oder $c_1^2 \left(\frac{\operatorname{Sin} \alpha \operatorname{Cos} \beta}{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)} + \operatorname{Cos} \delta \cdot \frac{\operatorname{Sin} z_1}{\operatorname{Sin} z} \right) = \lambda \cdot g H,$

Wenn u_2 im günstigsten Falle normal ist
also z_1 = rechtwinklig oder $\operatorname{Sin} z_1 = 1$,
so ist $z = R - \delta$ oder $\operatorname{Sin} z = \operatorname{Cos} \delta$
und wir erhalten

$$c_1^2 \left(\frac{\operatorname{Sin} \alpha \operatorname{Cos} \beta}{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)} + 1 \right) = \lambda \cdot g H$$

$$c_1^2 \left(\frac{\operatorname{Sin} \alpha \operatorname{Cos} \beta + \operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)} \right) = \lambda \cdot g H$$

$$c_1^2 \left(\frac{\operatorname{Sin} \beta \operatorname{Cos} \alpha}{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)} \right) = \lambda \cdot g H$$

$$c_1^2 = \lambda \cdot g H \cdot \frac{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} \beta \cdot \operatorname{Cos} \alpha}.$$

$$c_1 = \sqrt{\lambda \cdot g H \cdot \frac{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} \beta \cdot \operatorname{Cos} \alpha}}$$

$$= \sqrt{\lambda} \cdot \sqrt{g H \cdot \frac{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} \beta \cdot \operatorname{Cos} \alpha}} \qquad (3.)$$

Nach weiterer Revision dieser Formel mit den Umdrehungszahlen ausgeführter Turbinen hat Schmidt statt dessen noch gesetzt

$$c_1 = \sqrt{\lambda \frac{v_1}{v_0}} \sqrt{g H \cdot \frac{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} \beta \operatorname{Cos} \alpha}} \qquad (4.)$$

$$= 0{,}98 \sqrt{\lambda} \sqrt{g H \cdot \frac{\operatorname{Sin} (\beta - \alpha)}{\operatorname{Sin} \beta \operatorname{Cos} \alpha}}$$

(wenn v_1 nicht gleich v_0, sondern $\frac{v_1}{v_0} = 0{,}9633$ im Mittel anzunehmen ist).

Erfahrungsmäßig schwankt der hydraulische Wirkungsgrad
$\lambda = 0{,}6$ bis $0{,}8$ im Mittel $= 0{,}7$
oder $\sqrt{\lambda} = 0{,}774$ bis $0{,}894$ im Mittel $= 0{,}836$.

Rechnet man noch 7 % für Zapfenreibung, so ist
$\eta = 0{,}6 - 0{,}07 = 0{,}53$
bis
$0{,}8 - 0{,}07 = 0{,}73$

Wenn also $L_a = Q\gamma \cdot H$, so ist
die hydraulische Leistung

$$L_1 = 0{,}6 \text{ bis } 0{,}8\ L_a \quad \text{im Mittel} = 0{,}7 \cdot L_a$$

und die Nutzleistung

$$L_n = 0{,}53 \text{ bis } 0{,}73\ L_a \quad \text{im Mittel} = 0{,}63\ L_a$$

sowie noch

$$L_n \quad \text{im Mittel} = 0{,}9\ L_1\,. \text{ —}$$

§. 87.

Betrieb einer Turbine, wenn sich die Wassermenge oder das Gefälle ändert.

Nach §. 83. läßt sich das Verhältniß des Halbmessers R einer Turbine zur Wassermenge Q und dem Gefälle H durch die allgemeine Formel

$$R = k \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} \text{ ausdrücken.}$$

Bei einer andern Turbine würde ebenfalls sein

$$R_1 = k \cdot \sqrt{\frac{Q_1}{\sqrt{H_1}}}$$

Soll nun eine und dieselbe Turbine in beiden Fällen denselben Wirkungsgrad geben, so ist wegen $R = R_1$:

$$\frac{Q_1}{\sqrt{H_1}} = \frac{Q}{\sqrt{H}}$$

oder

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H}}$$

d. h. die Wassermengen müssen sich wie die Quadratwurzeln aus den Gefällhöhen verhalten.

Auch die Umdrehungszahlen ändern sich, so daß

$$\frac{n_1}{n} = \frac{\sqrt{H_1}}{H} = \frac{Q_1}{Q}$$

Selbstverständlich ändert sich die effektive Leistung einer Turbine mit Aenderung des Gefälles oder der Wassermenge. —

Soll eine und dieselbe Turbine bei veränderlichem Gefälle stets dieselbe Leistung geben, so müssen sich die Beaufschlagungen ändern im Verhältniß

$$\sqrt{H^3} : \sqrt{H_1^3}$$

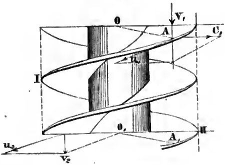
Bleibt das Gefälle konstant, während die Wassermenge sich ändert, so muß die Turbine entweder mit Abtheilungen eingerichtet sein, falls sie als Vollturbine arbeiten soll, oder sie muß als Partialturbine arbeiten. —

§. 88.

Schraubenturbine.

Dieselbe hat keinen Leitschaufelapparat; wenn das Wasser mit der Geschwindigkeit parallel zur Axe $= v_1$ eintritt, so ist die Umdrehungsgeschwindigkeit $c_1 = v_1 \operatorname{Cotg} \alpha$. Ist $w = \frac{\pi n}{30}$ die Win-

Nr. 25.



kelgeschwindigkeit des Rades, so hat man die Umdrehungsgeschwindigkeit im Abstande. $0A = 0_1 A_1 = r$ von der Radaxe

$$c_1 = w r$$

Bezeichnet b die Gang- oder Radhöhe AA_1, so ist für den Neigungswinkel α der schraubenförmigen Schaufel $A\,I\,II\,A_1$ im Abstande r

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{b}{2 \pi r}$$

und es läßt sich setzen

$$w r = v_1 \cdot \operatorname{Cotg} \alpha = \frac{2 \pi r v_1}{b}$$

und es folgt die Winkelgeschwindigkeit w, wobei das Wasser überall ohne Stoß in das Rad tritt

$$w = \frac{2 \pi v_1}{b}$$

Für die relative Geschwindigkeit u_1, mit welcher das Wasser seine Bewegung im Rade beginnt, ist

$$u_1^2 = v_1^2 + c_1^2$$

und dagegen die relative Austrittsgeschwindigkeit

$$u_2^2 = u_1^2 + 2 g (h_1 - h_{11})$$

wobei h_1 die Wassermanometer- oder Pressungshöhe beim Eintritt, h_{11} die beim Austritt aus dem Rade bezeichnet, und die sonstigen Bewegungswiderstände außer Acht gelassen sind.

Da nun noch

$v_1^2 = 2g (H_1 - h_1)$, wenn H_1 die Höhe des Wasserstandes über dem Rade, so folgt

$$u_2^2 = v_1^2 + c_1^2 + 2 g (h_1 - h_{11})$$
$$= c_1^2 + 2 g (H_1 - h_{11})$$

und da endlich $(H_1 - h_{11})$ das ganze Radgefälle $= H$ so ist

$$u_2^2 = c_1^2 + 2 g H.$$

Um die größte Nutzleistung zu erhalten, müßte $u_2 = c_1$ sein, welches nach dieser Formel nur für $c_1 = \infty$ möglich ist. —

Setzen wir c_1 nur sehr groß voraus, so ergiebt sich

$$u_2 = c_1 = w\,r$$

und folglich die relative Austrittsgeschwindigkeit ebenso wie die Umfangsgeschwindigkeit dem Abstande oder Radius r proportional.

Die absolute Austrittsgeschwindigkeit ist

$$v_2 = 2\,c_1\ \mathrm{Sin}\ \frac{\alpha}{2} = 2\,w\,r \cdot \mathrm{Sin}\ \frac{\alpha}{2}$$

annähernd

$$= 2\,w\,r \cdot \mathrm{Tg}\ \frac{\alpha}{2} = w\,r \cdot \mathrm{Tg}\ \alpha = w\,r \cdot \frac{b}{2\,\pi\,r}$$

$$= \frac{w\,b}{2\,\pi}$$

und folglich auf der ganzen Grundfläche des Rades ein und dieselbe.

Dritte Abtheilung.

A. Literatur.

1. Bücher.

Armengaud, Traité pratique des moteurs hydrauliques. —
Bergmann, der praktische Mühlenbauer. 3. Aufl. von Neumann.
Bernoulli, Vademecum, 12. Aufl. von Autenheimer.
Burg, Kompendium der Mechanik und Maschinenlehre.
Combes, Turbines hydrauliques.
Egen, Untersuchungen über den Effekt einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke.
Francis, Lowell hydraulic experiments. Boston 1855.
Hartmann, englisch-amerikanische Mahlmühlen, 3. Auflage von Krüdener.
Laffineur, Traité de la construction des roues hydrauliques.
Lohmann, Wasser-Mahlmühlenbau, 2. Aufl. von Krüdener.
Morin, Experiences sur les roues hydrauliques.
Neumann, Führer des Technikers.
Pohl, Anlage von Wassermühlen.
Poncelet, Mechanik.
„ Memoire sur les roues hydrauliques à aubes courbes, mues par dessous. Metz 1867.
Redtenbacher, Theorie und Bau der Wasserräder.
„ Theorie und Bau der Turbinen.
„ Resultate für den Maschinenbauer.
Rittinger, Theorie und Bau der Rohrturbinen und der Jonval-Turbinen insbesondere, 2. Aufl.
Rühlmann, Maschinenlehre.
Schubert, Beitrag zur Berichtigung der Theorie der Turbinen. —
Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen. Nach den auf Kosten der Ver Staaten Nordamerikas vorgenommenen Untersuchungen von Humphreys und Abbot. Deutsch von Grebenau, k. baier. Baubeamten. 1867.
Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. —
„ der Ingenieur. —

2. Aufsätze in Zeitschriften.

Grundwerke und Wassermessen.

Beaudemoulin, über die nöthige Tiefe der Fundamente bei Wasserbauten: Bulletin des sciences technologiques. Tom. 17. pag. 284. Paris.
Siblei, gußeiserne Bekleidung eines Dammes: Dingler's polytechn. Journal Bd. 48. S. 166.
Hruliczka, über den Klausen- und Teichbau: Jahrbücher des polytechn. Institutes. Wien, Bd. 19. S. 159.
Mallet, über die zweckmäßigste Form der Wehre: Journal of the Franklin. New Series. Vol. 22. pag. 212.
Hofmann, Beschreibung einer Schütze mit sehr großer Oeffnung: Verhandlung des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in Preußen. 1840. S. 134.
Wehr zu Epineau: Förster's allgemeine Bauzeitung. Wien 1840. S. 333.
Bateman, Wehr mit Schleusen zum Abführen des Schlammes: Dingl. polyt. Journal Bd. 86. S. 321.
Trautwein, hölzerner Aquädukt in Nordamerika: Förster's allgemeine Bauzeitung. 1843. S. 78.
Legrom, über bewegliche Wehre (barrages mobiles): Annales des ponts et chaussées. 2. Ser. Tome 12. pag. 259.
Chanoine und Poirée, über Wehre: Förster's allgemeine Bauzeitung. 1841. S. 154.
Girard, hydropneumatische Wehre: Polytechn. Centralblatt 1851. S. 1506.
De Sázilly, über das Profil eines gleichen Widerstandes für Mauern bei Wasserbehältern: Annales des ponts et chaussées. 3. Ser. Tome 6. p. 191.
Verfahren zum Messen des Wassers durch Ueberfallwehre, von Sang: Dingl. polyt. Journ. Bd. 157. (1860.) S. 178.
Apparat zum Messen des Wassers bei Wasserleitungen: Polyt. Centralbl. 1866. S. 170.
Humphreys-Abbot'sche Theorie der parabolischen Bewegung des Wassers: Zeitschr. des Ver. deutschen Ing. 1867. Bd. XI. S. 251. — Dingl. Journ. Bd. 186. S. 161. Jahrg. 1867. —
Ausfluß des Wassers durch Ueberfälle, von H. Studt: Verh. d. Vereines z. Bef. des Gewerbfleißes in Preußen 1867. S. 32. —
Ueber Wassermessen von Stüßi: Schweiz. polytechn. Zeitschrift Bd. IX. 1864. —

Wasserräder.

Burg, über die oberschlägigen Wasserräder: Jahrbücher des polyt. Institutes. Wien. Bd. 4. S. 198.
„ über die unter- und mittelschlägigen Räder: Jahrb. d. pol. Inst. Wien, Bd. 6. S. 204.

Amavet und Belleville, Wasserräder mit beweglichen Schaufeln: Dingl. polytechn. Journal. Bd. 19. S. 105.
Menzel, über Verwendung des Wassers auf unterschlägige Kropfräder: Bair. Kunst- und Gewerbebl. 1826. S. 514.
Ueber Wasserräder (aus dem Englischen): Bair. Kunst- u. Gewerbeblatt 1831. S. 231 u. S. 321.
Morin, über die Wasserräder mit planen Schaufeln: Annales des mines. 3. Ser. Tom. 12. p. 3.
Delvaux, Wasserrad mit beweglichen Schaufeln: Brevets d'invention. Tome 48. p. 379.
Versuche mit einem Poncelet'schen Wasserrade: Wieck's Gewerbezeitung 1845. S. 420.
Poncelet'sches Wasserrad von 10 Pfd. auf der Pulvermühle zu Angoulème: Polyt. Centralbl. 1854.
Gegen das Einfrieren der Wasserräder: Wieck's deutsche Gewerbezeitung 1855. S. 108.
Schraubenrad mit horizontaler Axe von Girard: Dingl. polyt. Journ. Bd. 137. S. 10.
Eisernes Wasserrad mit Koulissenschütze von Dr. Zeuner: Polytechn. Centralbl. 1855. S. 833.
Zuppinger's Wasserrad: Polytechn. Centralbl. 1855. S. 972.
Wasserräder auf der Pariser Ausstellung von 1855 von Rittinger: Dingl. polyt. Journ. Bd. 140. S. 23.
Die schwimmenden Wasserräder von Colladon in Genf: Polytechn. Centralbl. 1857. S. 103.
Hydraulische Maschine von Roman und Sorn: Wieck's deutsche Gewerbezeitung 1858. S. 327.
Unterschlägiges Wasserrad der Rother Mühle in Bromberg: Zeichnungen der „Hütte". Jahrg. 1854. Tafel 3.
Theoretische Untersuchungen über Wasserräder nach Dr. Zeuner und Weisbach: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 3ter Band. 1859. S. 160.
Theorie der unterschlägigen Wasserräder von Rachmaninow: Polytechn. Centralbl. 1859. S. 1174.
Oberschlägiges Rad zu Erla, gebaut von Nestler und Breitfeld: Zeichnungen der „Hütte" 1860. Taf. 7.
Eisernes Wasserrad der Hirzenheimer Hütte: Zeichn. der „Hütte". 1860. Taf. 8.
Sagebien's neues Kropfrad: Wieck, deutsche Gewerbezeitung 1860. S. 404.
Reaktionswasserrad im freien Strome, von Voß: Bair. Kunst- u. Gewerbebl. 1861. S. 93.
Wasserrad zu Pielahütte: Zeichn. d. „Hütte" 1862. Taf. 32.
Ueber die Wirkung der in der Gemeinde Remscheid und Umgegend bei Hammerwerken und Schleifkotten gebräuchlichen Wasserräder von Rob. Röntgen: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1862. S. 69. — Dingl. polyt. Journal Bd. 158. (1860.) S. 81.
Wasserrad mit schrägen Schaufeln von Delnest: Dingl. polytechn. Journ. Bd. 173. S. 182. — Polytechn. Centralblatt 1864. S. 1550.

Oberschlägiges Wasserrad in der Spinnerei zu Lauterbach: Zeichnungen der „Hütte" 1864. Taf. 38.
Theorie der unter- und mittelschlägigen Wasserräder von Pambour: Polyt. Centralblatt 1865. S. 1313. — Dingl. polyt. Journ. Bd. 178. S. 425.
Theorie der Zellenräder, nach de Pambour: Dingl. polyt. Journ. Bd. 179. S. 356.
Theorie der oberschlägigen Räder, von de Pambour: Polyt. Centralblatt 1866. S. 421 und 636. — Chemnitzer deutsche Industr. Zeitung 1867. S. 453.
Wasserrad von Sagebien: Dingl. polyt. Journ. Bd. 181. S. 337.
Unterschlägiges Wasserrad mit beweglichen Schaufeln von de la Fontaine: Polyt. Centralblatt. 1866. S. 1450.
Wasserrad des Wasserwerks zu Habelschwerdt: Zeichn. der „Hütte" 1866. Taf. 8 b.
Courdin's Schraubenwasserräder: Oppermann, Portefeuille etc. des machines; Tome 11. p. 134. — Chemnitzer deutsche Industr. Zeitung 1867. S. 82.
Wasserräder der Pariser Ausstellung 1867: Franz. Bericht, herausgegeben von der Société industr. de Mulhouse.

Wassersäulenmaschinen.

Wassersäulenmaschine zu Huelgot: Annales des mines. 3. Ser. Tome 8. p. 95. 247. 369. —
Jordan, Wassersäulenmaschine bei Klausthal: Karsten's Archiv für Metallurgie. Bd. 10. S. 235.
Steenstrup, Wassersäulenmaschine: Dingl. polyt. Journ. Bd. 71. S. 184.
Pache, Wassersäulenmaschine: Annales des mines. 3. Ser. Tome 11. p. 403. — Bair. Kunst- und Gewerbeblatt 1848. S. 328.
Armstrong, Wassersäulenmaschine: Polyt. Centralblatt 1849. S. 592. — Wieck, Gew.-Ztg. 1850. S. 27.
Caligny, Wassersäulenmaschine: Polyt. Centralblatt 1850. S. 29 und 1852. S. 735.
Nagel, Wassersäulenmaschine: Polyt. Centralbl. 1852. S. 1052. — Förster's Allgem. Bauzeitung. Wien 1852. S. 8.
Jugler, Wassersäulenmaschine am Harze: Hannov. Notizblatt. B. 3. S. 13.
Wassersäulenmaschine von Joy: Dingl. polyt. Journal. Bd. 148. S. 401.
Wassersäulenmaschine der Grube Centrum: Zeitschr. des Vere. deutscher Ing. 1860. S. 79.
Wassersäulenmaschine von Joy: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1861. S. 82.
Vorschlag, um von Wassersäulenmaschinen bei zunehmender Lastteufe stets den höchsten Effekt zu gewinnen, von v. Hauenfels: Polytechn. Centralblatt 1860. S. 749.
Wassersäulenmaschine beim König Dänemark-Stollen: Zeichnungen der „Hütte". Jahrg. 1862. Taf. 9 a—e.

Wassersäulenmaschinen zur Förderung: Zeitschr. d. Ver. deutsch. Jng. Bd. 7. Jahrg. 1863. S. 21.
Ueber die Anwendung der Wassersäulenmaschinen auf den Bergbau ꝛc. Zeitschr. f. das Berg-, Hütten- und Salinenwesen in den preuß. Staaten. Bd. 9. Jahrg. 1861, B. S. 50.
Wassersäulenmaschine von Lewis: Polyt. Centralbl. 1863. S. 1132.
Wasserdruckmotor von Staunard: Wieck's Gew.-Ztg. 1865. S. 245.
Wassersäulenmaschine zu St. Nikolas Varangeville: Förster's Allgem. Bauzeitung 1864.
Kolben für Wassersäulenmaschinen von Baker: Polyt. Centralblatt. 1866. S. 635.
Wassersäulenmaschine vom Ramsbottom: Polyt. Centralblatt 1866. S. 842. — Dingler's polyt. Journal 1867. — Chemnitzer deutsche Jnd. Ztg. 1867. S. 174.
Ueber die Anwendung komprimirter Wasser für Wassersäulenmaschinen von Werner: Zeitschr. d. Ver. deutscher Jngen. 1867. S. 65.
Theoretische und prakt. Untersuchungen über den Perrot'schen Wasserdruckmotor: Dingl. polyt. Journ. 1867. Bd. 184. S. 81. — Civil-Jngenieur.
Effekt der Przibamer Wassersäulenmaschinen: Erfahrungen im österreich. berg- und hüttenm. Maschinen-Bau- und Aufbereitungswesen, Jahrg. 1864. —

Turbinen.

Burdin, Turbine mit vertikaler Axe: Annales des mines, 3 Ser. Tome 3. p. 85 — Bulletin de la société d'encouragement 1824. p. 256.
Fourneyron über die Anwendung der Turbinen: Bull. d. la société d'encour. 1834. p. 3. 49. 85 — Dingler polyt. Journ. Bd. 53. S. 241.
Kolb, horizontales Wasserrad: Bair. Kunst- und Gewerbeblatt 1836. S. 455.
Wedding u. Carliczek, Versuche mit horizontalen Wasserrädern: Verh. d. Ver. zur Beförd. d. Gewerbfleißes in Preußen 1837. S. 68.
Egen, über das erste in Preußen gebaute horizontale Wasserrad: Verh. d. Ver. z. B. d. Gewerbfleißes in Preußen 1837. S. 167.
Carliczek, über Egen's Aufsatz: Verh. desselben Ver. 1837. S. 345.
Verbesserte Turbine: Wiener polyt. Journal 1843. S. 92.
Nagel's horizontale Wasserräder: Dingler's polyt. Journal Bd. 90. S. 154.
Combes über Reaktionsräder: Dingler's polyt. Journal Bd. 70. S. 197. — Bd. 76. S. 235. — Bd. 77. S. 167. — Bd. 81. S. 23.
Hänel, Berechnung über Whitelaw's und Stirrat's Wasserräder: Wieck's Gew. Ztg. 1843. S. 572. Dingler's polyt. Journal Bd. 91. S. 111. —
Köchlin, Turbine à double effet. Dingler's polyt. Journal Bd. 94. S. 118. 127. —

Fontaine's Turbine: Dingler's polyt. Journal Bd. 95. S. 4. — Bd. 96. S. 340. — Bull. d. l. société d'encour. 1845. p. 53. —
Sprengel's Turbine: Mittheil. d. hannov. Gew. Ver. 1845. S. 257.
v. Grundler, schottische Turbine: Bair. Kunst und Gew. Bl. 1846. S. 176. —
Hänel, neue Konstr. der Turbinen: Wieck's Gew. Ztg. 1846. S. 293. — Polytechn. Centralblatt 1846. —
Girard, Turbinen ohne Leitkurven: Brevets d'invention, Tome 59. p. 370.
Dahlhaus, Turbine: Dingler's polyt. Journal Bd. 101. S. 190.—
Jonval'sche Turbine: Wieck's Gew. Ztg. 1847. S. 615.
Parker's Reaktionsräder: Verh. des Ver. zur Beförd. des Gewerbfleißes in Preußen 1847. S. 79. — Civil engineer 1848. p. 171. 1850. p. 68. — Dingler's polyt. Journal Bd. 116. S. 276. —
Schwamukrug, über Turbinen mit theilweiser Beaufschlagung: Polyt. Centralblatt 1849. S. 449.
Dynamometrische Versuche mit Turbinen von Escher und Wyß: Polytn. Centralblatt 1849. S. 1025. — 1850 S. 22. — desgleichen mit Turbinen von Jordan und Barber: Polyt. Centralblatt 1849. S. 1281. desgleichen mit Turbinen von Mattausch: Polyt. Centralblatt 1849. S. 1348.
Weisbach, über den Widerstand in Turbinenkanälen: Polyt. Centralblatt 1850. S. 129.
Nagel, über Anwendung der Turbinen bei abwechselndem Ober- und Unterwasser: Förster's Allg. Bauzeitung 1850. S. 266.
Girard Versuche mit einer hydropneumatischen Turbine: Polyt. Centralblatt 1852. S. 1055.
Dreßler, untere Zapfen für Turbinenwellen: Polyt. Centralblatt 1853. S. 647. —
Amerikanische Turbinen: Americain polytechnical Journal, Washington et New-York. Vol. 2. p. 351 — 353. — Civil engineer 1854. p. 37.
Turbinen mit Holzkonstruktion: Polyt. Centralblatt 1855. S. 823.
Versuche an einer Fontaine'schen Turbine. Polyt. Centralblatt 1855. S. 914. —
Die Zenner'sche Reaktionsturbine mit äußerer Beaufschlagung: Polyt. Centralblatt 1855. S. 961. 1039. — Civil-Ingenieur, Neue Folge Bd. 2. —
Girard, Vertikalturbine ohne Leitkurven oder Schraubenrad: Polyt. Centralblatt 1856. S. 436. Dingler's polyt. Journal Bd. 137. S. 10. — Bd. 140. S. 412. —
Hydropneumatische Turbine von Girard: Dingler's polyt. Journal Bd. 142. S. 1. —
Niederdruckturbine von Girard: Polyt. Centralblatt 1856. S. 1290.
Schützenvorrichtung für Turbinen von Chenevol: Polyt. Centralblatt 1856. S. 1485. — Dingler's polyt. Journal Bd. 143. S. 169. —
Vertikale Doppelturbine (mit horizontaler Axe) von v. Raschkoff, beschrieben von Bornemann: Polyt. Centralblatt 1857. S. 1285. —

Hydropneumatische Turbine von Girard: Dingler's polyt. Journal Bd. 144. (1857.) —

Beitrag zu der Geschichte der horizontalen Wasserräder von Rühlmann: Zeitschr. des Hannov. Architekten- und Ingenieurvereins 1855. Bd. 1. S. 227. — Dingler's polyt. Journal 1856. Bd. 141. S. 248. — Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingenieure 1857. Bd 1. S. 31. —

Ueber Fontaine's und Brault's Verbesserungen der Fontaine'schen Turbinen von Prof. Zeuner: Dingler's polyt. Journal Bd. 149. (1858) S. 82. Polyt. Centralblatt 1858. S. 977.

Turbine von Girard zur Hebung des Wassers auf das Plateau St. Julien zu Marseille: Polyt. Centralblatt 1858. S. 1457.

Jordan's Turbine mit horizontaler Axe und Schmierpresse: Dingler's polyt. Journal Bd. 150 (1858) S. 4. —

Turbinen von Girard, mit Beaufschlagung ohne Druck und Stoß und mit kontinuirlicher Entleerung durch freie Abweichung (admission sans pression et sans choc, et à évacuation continue par libre déviation): Allgemeine Bauzeitung von Förster, Wien 1864. —

Girard's Turbines du système hydropneumatique: Genie industrielle, Tome 3. p. 59—76; ferner Tome. 5. p. 300; Tome 13. p. 217. —

Turbinengöpel für Gesellschafter-Zug: Zeichnungen der „Hütte". 1858. Taf. 41 a. b. —

Bryden'sche Turbine: Civ.Engineer and Archit. Journ. 1856. — Zeitschr. des hannov. Archit. und Ing. Ver. 1857. — Zeitschr. des Vereins deutscher Ingen. 1858. S. 133.

Hochdruckturbine in Malapane: Zeitschr. des Ver. deutscher Ingen. 1859. Bd. III. S. 243. —

Neue Konstruktion der Tangentialturbinen von v. Mengershausen: Dingl. polyt. Journ. Bd. 152. (1859.) S. 84.

Henschel-Turbinen von 300 Pferdest. in New-York: Dingl. polyt. Journ. Bd. 153. (1859.) S. 81.

Zur Turbinentheorie von Schmidt: Dingl. polyt. Journ. Bd. 155. (1860.) S. 248. — Polyt. Centralblatt. 1860. S. 447. —

Ueber eine von Nagel konstruirte Partialturbine von Prof. Rühlmann: Dingl. polyt. Journal Bd. 158. (1860.) S. 172. — Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1861. S. 110.

Aufstellung eines Tangentialrades zum Betriebe der Spinnerei Thorshag bei Norköping: Wieck's deutsche Gewbztg. 1860. S. 242.

Jonval-Turbine, gebaut von Hartmann in Chemnitz: Zeichn. der „Hütte." 1860. Taf. 9.

Verbesserte Turbinen-Konstruktion von Hänel: Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1861. S. 163. — Polyt. Centralblatt 1861. S. 1441. — Dingl. polyt. Journ. Bd. 152. (1861.) S. 323.

Nachtrag dazu S. 267 der Zeitschr. des Ver. deutscher Ingen. 1861.

Bremsversuche mit Fourneyron'schen Hochdruckturbinen: Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1861. S. 246.

Tangentialrad von H. Bloch zu Josephshütte: Zeitschr. des Vereins deutscher Ing. 1861. S. 213. — Zeichn. der „Hütte" 1862. Taf. 1.

Turbine mit äußerm Wasserzufluß von Martin: Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1861. S. 111.

Ueber die Benutzung der Ebbe und Fluth zum Betriebe der Turbinen: Polyt. Centralblatt 1861. S. 1170. —

Schützvorrichtung von Baron jun.: Polytechnisches Centralbl. 1861. S. 1185. —

Patent-Turbine von Schiele: Dingl. polytechn. Journ. Bd. 154. S. 167. —

Die Henschel'sche Turbine von Schmidt: Polyt. Notizblatt 1862. S. 265. —

Ueber die Turbinen der Londoner Ausstellung von 1862: Zeitschr. des Ver. deutscher Ing. 1863. Bd. VII. S. 317. —

Ueberwasserzapfen einer Jonval'schen Turbine: Zeichn. der „Hütte" 1863. Taf. 17.

Turbinen von Fontaine und Brault auf der Londoner Ausstellung: Dingl. polyt. Journ. Bd. 157. (1863.) S. 81. — Wieck's Gew.-Ztg. 1863. S. 106.

Anwendung des Wasserdrucks zur Verminderung der Zapfenreibung von Girard: Dingl. polyt. Journal Bd. 157. S. 410. — Schweizerische polyt. Zeitschr. 1863. Heft 3. — Chemnitzer deutsche Industriezeitung 1865. S. 45. —

Beschreibung einer Turbinenanlage bei sehr veränderlicher Wasserkraft, von Trützsch: Polyt. Centralbl. 1864. S. 209. — Schweiz. polyt. Zeitschr. 1864. —

Ueber die Turbinen des Prof. Fink in Berlin: Zeitschr. d. Vereins deutscher Ing. 1864. Bd. VIII. S. 218.

Turbinen von Cheetham: Polyt. Centralbl. 1865. S. 1259.

Jonval-Turbine von 20 Pferdestärken: Zeichnungen der „Hütte" 1865. Tafel 3. —

Tangentialrad zum Betriebe der Mehl- und Makkaronifabrik von Fischer in Harzburg: Zeichnungen der „Hütte" 1865. Tafel 20. —

Verminderung der Zapfenreibung durch Wasserdruck: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. Bd. VIII. (1864.) S. 175. — Desgl. Bd. IX. 1865. S. 300.

Turbine mit ringförmiger vertikaler Schütze von Lombard: Dingl. polyt. Journal Bd. 180. (1866.) S. 28. — Polytechn. Centralblatt 1866.

Turbines à vannes annulaires verticales par Lombard: Genie industr. 1866. Januarheft.

Theorie der Turbinen von de Pambour: Polyt. Centralblatt 1866. S. 1233. — Dingl. polyt. Journ. Bd. 182. (1866.) S. 264.

Turbine nach Girard zu Maureix bei Limoges: Engineer 1867. Januarheft. —

Turbine von Larger: Genie industr. Tome 34. (1867.) p. 1. —

Chemnitzer deutsche Industrie-Ztg. 1867. S. 394. — Polyt. Centralbl. 186.

Théorie de la turbine: Annales du Génie civil 1867; Aprilheft. —

Wiebe, allgemeine Theorie der Turbinen: Civil-Ingenieur Bd. 5. (1859.) —

„ Desgl. Erbkam, Zeitschr. für Bauwesen 1866. 67.

Turbinenanlage und Seiltransmission der Wasserwerksgesellschaft in Schaffhausen, mitgeth. von Kronauer, Schweiz. polyt. Zeitschr. 1867.

Turbinen der Pariser Ausstellung 1867: Franz. Berichte, herausgeg. von der Société industrielle de Mulhouse.

B. Verzeichniß technischer Ausdrücke in deutscher, französischer und englischer Sprache, mit Bezug auf hydraulische Motoren.

I.

Deutsch.	Französisch.	Englisch.
Aichen,	jaugeage,	gauging.
Aichpfähle (Pegel),	marqueurs,	markers.
Ansatzröhre (kurze),	tuyeau additionel,	short-pipe.
Arbeit (Leistung einer Kraft),	travail mécanique,	work done (labouring force).
Arbeitsmaschine,	opérateur (outil),	operatur.
Architekt (Baumeister),	constructeur (architecte),	builder.
Arm (an Radern),	bras,	arm.
Aufschlagwasser.	eau motrice,	moving-water.
Ausgußröhre,	gargouille,	spout.
Aus- und Einrückvorrichtung,	débrayage,	diseugaging apparatus.
Bänder (Streben),	liens,	lies (links).
Baggermaschine,	machine à curer,	dredging machine.
Balancier,	balancier,	beam.
Balken,	poutre (solive),	beam (juist).
Bandeisen,	feuillard,	houp-iron.
Barometer,	baromètre,	barometer.
Bauwerk,	construction,	structure.
Blech,	tôle,	sheet-iron.
Blei,	plumb,	lead.
Bock (Gestell),	chèvre,	gin.
Böschung natürliche,	talus naturel,	natural slope.
Bohlenwerk,	palplanche,	walling timper.
Bolzen (Pflock),	boulon,	pin (bolt).
Bremsdynamometer.	frein dynamométrique,	dyuamometrical break.
Bremse,	frein,	break.
Brunnen,	puits,	well.
Damm,	digue (remblai),	dam (embancment).
Daumen,	came,	cam (tappet).
Dichtigkeit,	densité,	density.
Draht,	fil,	wire.
Drehklappe (Drosselventil),	valve,	thruttle-valve.
Druck,	pression,	pressure.
Druckhöhe,	charge d'eau,	heigt of water.
Dynamometer,	dynamomètre,	dynamometer.
Ein- und Ausrückung,	embrayage (modificateur),	engaging and disengaging machinery.
Eisen,	fer,	iron.
Eisendraht,	fil de fer,	iron-wire.
Eisendrahtseil,	corde en fils de fer,	cable of iron-wire.
Federn, (Rippen an Wellen),	nervures (languettes),	feathers (fillets).
Festigkeit,		
— absolute,	resistance de traction.	strength of extension.
— drehende,	— — torsion,	— — torsion.
— relative,	— flexion,	— — flexure.
— rückwirkende,	— — compression,	— — compression.
Friktionsrolle,	galet,	friction-roller.

Fuß,	pied,	foot.
Futtermauer,	revetment,	retaining wall.

Gefälle	chute,	tall.
Gegengewichte,	contrepoids,	countre pnises.
Gerinne, gerades,	coursier rectiligne,	strait channel.
— Kropf-	cursier circulaire,	circular channel.
Gewicht,	poids,	wight.
Gleichgewicht, indifferentes	équilibre indifferent,	indifferent equilibrium.
— labiles,	— instable,	unstable.
— stabiles,	— stable,	stable.
Grundbette (Sohle),	font du lit,	bottom of the channel.
Gußeisen,	fonte (crue),	cist-iron.
	— moulée	foundry-irnn.

Hängestange (Schiene),	tringle,	strop (link).
Hahn,	robinet,	cock.
Hanfseil,	corde (cordage de chanvre),	cable of bomp (corde, rop).
Haspel (Winde),	treuil (tour),	windlas (crab).
Hebel, gerader,	levier droit,	straight lever.
— -Winkel,	— courbè,	bent lever.
Hebelarm,	bras du levier,	arms of lever.
Heber,	siphon,	siphon.
Holz,	bois,	wnod.
Hub (Hubhöhe oder Länge),	course,	strucke.
Hydraulischer Widder,	bólier hydraulique,	hydraulic ram.

Ingenieur,	ingénieur,	engineer,

Kalk,	chaux	lime.
Keil,	clef (clavette, coin),	key (wedge).
Kitt,	ciment (lut),	cement (lute).
Knaggen,	rebords saillants,	stars.
Kraft ·	force,	power.
Kraftmaschine.	réceptour,	receiver.
Kranz (an Rädern),	anneau (jante),	rim (ring).
Krümmungshalbmesser,	rayon de courbure,	radius of curvature.
Krümmungskreis,	cercle osculateur,	circle of curvaturo.
Kugel,	boulet,	ball.
Kugelgestänge,	tirans (maitresses tiges des pompes),	main rods of pumps.
Kupfer.	cuivre,	copper.
Kuppelung,	accouplement,	coupling (clutch.
Kurbel (Krummzapfen),	manivelle,	crank (winch).
Kurbelzapfen.	tourillon,	crank pin.

Leder,	cuir,	loather.
Leitrolle,	poulie do renvoi,	guide pulley.
Leitungen (Führungen),	guides (glissoirs),	guides.
Lenker,	contrebalancier	bridle-rod.
Lockere Masse,	demi-fluid,	half-fluid.
Luftpumpe,	pompe à air,	air pump.
Luftständer (Luftröhren),	ventouses,	wind-pipes.

Maßstab,	échelle,	rule.
Manometer,	manomètre,	manometer.
Maschine,	machine,	machine (engine).
Mechanik,	mécanique,	mechanics.
— fester Körper,	— des corps solides,	— of rigid bodies.
— flüssiger Körper, (Hydraulik)	— des fluides (hydraulique),	— of fluids (hydraulic).
— luftförmiger Körper	— des fl. aëriformes,	— of elastic fluids.
Mennige,	minium,	red-lead.
Messing,	laiton (cuivre jaune),	brass.
Moderator,	modérateur,	moderator.
Motor,	moteur,	motor.

Nabe,	moyeu,	nave.
Nagel,	clou,	nail.
Niete,	rivet,	rivet.
Nuthe (Keilnuth),	rainure,	key-bed.

Oberfläche,	surface,	area.
Oeffnung (Falz),	ouverture (rainure),	aperture.

Parallelogramm,	parallèlogramme,	parallel-motion.
Pegel, s. Aichpfähle,		
Pfahl,	pitotis (pieu),	pile.
Pfannen (Lager),	coussinets (collets grains),	brasses (pillows).
Pferdestärke,	cheval vapeur,	horse power.
Pumpe,	pompe,	pump.
—, Druckpumpe,	— foulante,	forcing pomp.
—, Hubpumpe,	p. soulevant,	lifting pump.
— -röhren,	tuyeaux,	pipes (tubes).
—, Saugepumpe,	pompe aspirante,	suction pump.
— -ventile,	soupapes,	valves.
Quadratzoll,	pouce carreé,	square inch.
Querschwelle,	traverse,	sleeper.
Rad,	roue,	wheel.
Radwelle,	roue sur l'arbre,	whel and axle.
Räder,	roues,	wheels.
— konische oder Winkelräder,	r. coniques ou d'ongle,	conical wheels.
— cylindr. od. Stirn-Räder,	r. plates ou cylindriques	cylindrical wheels (spur-wheels).
— Drehling,	lanterne,	lantern (trundle, wallower).
— Getriebe,	roue conduite,	follower.
— Hyperboloidenräder,	r. hyperboliques.	hyperbolical wheels (skew-bevils).
— Kronenräder, (Kammräder),	r. à couronne,	crown wheels (face wheels).
— Laufrad (Planetenrad),	mouche,	sun and planets wheel.
Räder, Mangelrad,	couronne dentèe,	mangle wheel.
—, Sperrrad,	roue à rochet.	ratched wheel.
Räderwerk,	rouage,	wheel work.
—, Zahnräder,	engrenages,	geering (toothed wheelworks).
—, Riemen- oder Schnur-räderwerke,	rouages à courroies,	straped wheel-works.
Ramme,	sonnette,	pile-engine.
Rammklotz (-Bär),	mouton,	battreing-ram.
Rand (Kragen, Flantsche),	rebord,	flange.
Regulator,	régulateur,	regulator.
Reibung, gleitende,	frottement de glissement,	fluction of sliding.
— rollende,	— — roulement,	— — rolling.
Riemen,	courroie,	band (strap).
Riemscheibe,	poulie,	pulley.
— feste und lose,	— fixe et folle,	fast and loose pulley.
Rinne (Spur),	gorge,	groove.
Röhrenleitungen,	tuyaux de conduits,	conduits (pipes).
Roheisen,	fonte,	pig or cast-iron.
Rolle,	poulie,	pulley.
Rollengehäuse (-Lager),	chape,	block.
Rollenzuge (Flaschenzüge),	moufles,	tackles of pulleys
Rationspumpe,	pompe à rotation,	rotary pump.
Säulen,	poteaux (piliers),	posts.
Sandstein,	grès,	sandstone.
Saugeröhre,	tuyeau d'aspiration,	suction pipe.
Schädlicher Raum,	espace nuisible,	dead pace.
Schaufeln (Wasserrad),	palettes,	floats or paddles.
Schieber (Schubventil),	tiroir,	slide-valve.
Schieberstange,	tige du tiroir,	slide rod.
Schleuse,	écluse,	sluice (lock).
Schleusenkammer,	sas,	chambor.
— thore,	portes d'écluse,	lock-gates.
Schmiedeeisen,	fer forgé,	wrought-iron.
Schmiedbarer Eisenguß,	fonte malléable,	annealed cast iron.
Schmierbuchse,	boite à huile,	oil cup.
Schöpfräder,	roues élévatoirs à godets,	wheels to drawup water.
Schraube,	vis,	screw.
—, Differentialschraube	vis differentielle,	differential screw.
— -ngang,	pas de la vis,	pitch of the screw.
— -gewinde,	filets de vis,	threads of the screw.
— -linie,	hélice,	helix.
— -mutter,	écrou,	female screw.
— -schlüssel,	clot à vis,	turn screw.
— -steigung,	inclinaison,	inclination.
— -spindel,	noyau,	male screw.
— -windung,	spire,	spire.
— zieher,	tournevis,	screw-driver.
Schraube ohne Ende,	vis sans fin,	endless screw.
Schütze,	vanne,	sluice (shud).
Schuppen,	hangar,	shed.
Schwarzblech,	tôle en fer,	sheet (hoop iron).

Schwelle,	poutre (solive).	beam (joist).
Schwerpunkt,	centre de gravité,	centre of gravity.
Schwimmer,	flotteur,	floating body.
Schwungrad.	volant,	fly-wheel.
Seil,	cable (corde),	cable (rope, cord).
Sekundenpendel,	pendule à séconde,	seconds pendulum.
Spannrolle,	rouleau de tension,	expanding roller.
Spannschütze,	vanne,	penstock (shuttle).
Sparren,	chevron,	rafter.
Speisebasins,	reservoirs,	feeders.
— -gräben,	rigoles,	feeding trenches.
— -pumpe,	pompe alimentaire,	feed pump (hot waterpump).
Spindel (schwache Welle),	fuseau,	spindle.
Stahl,	acier,	steel.
Stahl, Gußstahl,	acier fondu,	cast steel.
Stauhöhe und Stauweite,	hauteur et amplitude du remou,	hight and amplitude of swell.
Stauung,	remou,	swell.
Steigeröhre,	tuyeau d ascension,	rising-pipe.
Steigung,	remont,	ascent.
Stirnrad,	roue droite,	star-wheel.
Stopfbüchse,	boite à etoupes,	stuffing-box.
Stoß,	choc (percussion),	impact (collision percussion).
Streben (Spreizen),	contre-fiches,	struts.
Support,	support,	pillar.

Tau,	cable,	tow.
Theilkreis,	cercle primitif,	pitch circle.
Triebwerk,	transmission,	geering.
Trommeln (Scheiben),	tambours,	drums
— konische Trommeln,	cônes tronqués,	conical drums.
Turbine,	turbine,	turbin.

Ueberdeckung (am Schieber),	lap,	recouvrement.
Ueberfall (bei Wasserwerken),	deversoir,	deversoir (overfall).
Ventil,	soupape	valve.
Vorstecknagel (-stift),	goujon,	pin.

Waage, gewöhnliche,	balance ordinaire,	common balance.
— -balken,	fléau,	beam.
Warze (am Krummzapfen),	bouton,	pin.
Wasserhebungsmaschine.	mach. à élever de l'eau,	water-work.
Wasserkunst (Pumpwerk)	pomperie,	pump-work (water wors).
Wasserleitung,	conduite d'eau,	conduit of water.
— -kanäle,	— canals,	canals.
— -graben,	fosses,	ditches.
— -gerinne,	anges (rigoles),	channel.
Wassermenge,	depense,	discharge.
Wasserräder,	roues hydrauliques,	water-wheels.
— oberschlägige,	r. h. en dessus,	overshot water wheels.
— rückenschlägige,	r. h. par derrière	bock-shot water wheels.
— mittelschlägige, (Kropfräder)	r. h. de coté,	middle shot water wheels (breast-wheels).
— unterschlägige,	r. h. en dessons,	undershot w. w.
— Schiffmühlenräder,	roues pendants,	ship mills wheels.
— Schaufelräder,	roues à aubes,	wheels with floats,
— Zellenräder,	— — augets,	— — buckets.
Wassersäulengebläse,	mach. soufl a colonne d'eau,	water pressure blast machine.
Wassersäulenmaschine,	mach. à colonne d'eau,	pressure-engine.
— Einfallröhre,	tuyau de chute,	pipe of fall.
— Kolbenstange,	tige du piston,	piston rod.
— Liederung.	garniture,	leathering (packing).
— Stopfbüchse,	boite à garniture,	stuffing-box.
— Steuerung,	regulateur,	regulator.
— Treibcylinder,	cylindre principal,	principal cylinder.
— Treibkolben,	piston moteur,	moving-piston.
Wasserstand,	niveau d eau,	water level.
Wasserstrahl,	veine (courant de fluit),	stream of the fluid.
Wasserstrahl, springender,	jet d eau,	jet of water.
Wasser- oder Brunnenzoll,	pouce d'eau,	woter-inch.
Wehr,	barrage,	bar (weir).
Weißblech,	fer blanc,	tin plate.
Welle,	arbre,	shaft.
Wendesäule,	poteau tourillon,	heel post.
Werg,	étoupe,	tow.
Windfang (Flügelrad),	volant à allettes,	fly.
Woltmann'scher Flügel,	moulinet de Woltmann,	sail-wheel of Woltmann.

Zähne (am Rand),	dents,	teeths (cogs).
Zahnrad, konisches,	roue conique,	beveled geer.

14*

Zapfen, liegender,	tourillon,	axle (gudgeon).
— stehender,	pivot,	pivot.
Zapfen- und Zapfenloch,	tenon et mortaise,	tenon and mortise.
Zapfenlager,	coussinet,	plumber block.
— Spurlager,	crapaudine,	step (bearing).
Zinn,	étain,	tin.
Zink,	zinc,	zinc.
Zirkel,	compas,	compasses.
Zoll,	pouce,	inch.
Zug,	traction,	traction.

II.

Französisch.	Deutsch.	Englisch.
accouplement,	Kuppelung,	coupling (clutch).
acier,	Stahl,	steel.
— fondu,	Gußstahl,	cast steel.
ange (rigole),	Wassergerinne,	channel.
anneau (jante),	Kranz (an Rädern),	rim (ring).
arbre,	Welle,	shaft.
balance ordinaire,	gewöhnliche Waage,	common balance.
balancier,	Balancier,	beam
baromètre,	Barometer,	barometer.
barrage,	Wehr,	bar (weir).
bassins,	Waageschaalen,	scales.
bélier hydraulique,	hydraulischer Widder,	hydraulic ram.
bois,	Holz,	wood.
boulet,	Kugel,	ball
bouton,	Warze am Krummzapfen,	pin.
bras,	Arm (an Rädern),	arm (whip).
cable (corde),	Kabel, Seil, Tau,	cabble (rope, cord, tow).
came,	Daumen,	cam (tappet).
canals,	Wasserkanäle,	canals.
centre de gravité,	Schwerpunkt,	centre of gravity.
cercle osculateur,	Krümmungskreis,	circle of curvature.
cercle primitif,	Theilkreis,	pitch circle.
chape,	Rollengehäuse (-Lager),	block.
charge d'eau,	Druckhöhe,	heigt of water.
chaux,	Kalk,	lime.
cheval-valeur,	Pferdestärke,	horse-power.
chèvre,	Bock (Gestell),	gin.
chevron,	Sparren,	rafter.
choc (percussion),	Stoß,	impact (collision, percussion).
chute,	Gefälle,	fall.
ciment (lut),	Kitt,	cement (lute).
clef (clavette, coin),	Keil,	key (wedge).
clef à vis,	Schraubenschlüssel,	turn screw.
clou,	Nagel,	nail.
compas,	Zirkel,	compasses.
conduite d'eau,	Wasserleitung,	conduit of water.
cônes tronqués,	konische Trommeln,	conical drums.
constructeur (architecte),	Architekt (Baumeister),	builder.
construction,	Bauwerk,	structure.
contrebalancier,	Lenker,	bridle-rod.
contre fiches,	Streben (Spreizen),	struts.
contre poids,	Gegengewichte,	countre poises.
corde (cordage de chanvre),	Hanfseil,	cable of hemp (corde, rop).
corde en fils de fer,	Eisendrahtseil,	cable of iron wire.
courroie,	Riemen,	band (scrap).
couronne dentée,	Mangelrad,	mangle wheel

course,	Hub,	stroke.
coursier rectiligne,	gerades Gerinne,	strait channel.
coursier circulaire,	Kropfgerinne,	circular channel.
coussinet,	Zapfenlager,	plumber block.
coussinets (collets grains),	Pfannen (Lager),	brasses (pillows).
crapaudine	Spurlager	foot step (bearing).
cuir,	Leder,	leather.
cuivre,	Kupfer,	copper.
cylindre principal,	Treibcylinder,	principal cylinder.
débrayage,	Aus- und Einrückvorrichtung,	disengaging apparatus.
demi fluid,	lockere Masse,	half fluid.
densité,	Dichtigkeit,	density.
dents,	Zähne am Rande,	teeths (cogs).
dépense,	Wassermenge,	discharge.
déversoir,	Ueberfall (bei Wasserwerken),	deversoir (overfall).
déversoirs,	Fluthgerinne (Leerläufe),	wast wiers.
digue (remblai),	Damm,	dam (embancment).
dynamomètre,	Dynamometer,	dynamometer.
eau motrice,	Aufschlagwasser,	moving-water.
échappement,	Hemmung,	escapement.
échelle,	Maßstab,	rule.
écluse,	Schleuse,	sluice (lock)
écrou,	Schraubenmutter,	female screw
embrayage (modificateur),	Ein- und Ausrückung,	engaging and disengaging machinery.
engrenages,	Zahnräder,	geering (toothed wheel works).
équilibre indifferent,	indifferentes Gleichgewicht,	indifferent equilibrium.
— instable,	labiles, —	unstable equilibrium.
— stable,	stabiles, —	stable equilibrium
espace nuisible,	Schädlicher Raum,	dead pace.
étain,	Zinn,	tin.
étoupe,	Werg,	tow.
fer,	Eisen,	iron.
fer blanc,	Weißblech,	tin plate.
fer forgé,	Schmiedeeisen,	wrought-iron.
feuillard,	Bandeisen,	hoop iron.
fil,	Draht,	wire.
fil de fer,	Eisendraht,	iron-wire.
filets de vis,	Schraubengewinde,	threads of the screw.
fléau,	Waagebalken,	beam.
flotteur,	Schwimmer,	floating body.
fond de lit,	Grundbette (Sohle),	bottom of the channel.
fonte (crue),	Gußeisen,	cast iron.
fonte,	Roheisen,	pig or cast-iron.
fonte malléable,	schmiedbarer Eisenguß,	annealed cast-iron.
force,	Kraft,	power.
fosses,	Wassergräben,	ditches.
frein,	Bremse,	break.
frein dynamométrique,	Bremsdynamometer,	dynamometrical break.
frottement de glissement,	gleitende Reibung,	friction of sliding.
— de roulement,	rollende Reibung,	— — rolling.
fuseau,	Spindel (schwache Welle),	spindle.
galet,	Friktionsrolle,	friction-roller.
gargouille,	Ausgußröhre,	spout.
garniture,	Liederung,	leathering (packing).
gorge,	Rinne (Spur),	groove.
goujon,	Vorstecknagelstift,	pin.
grès,	Sandstein,	sandstone.
hangar,	Schuppen,	shed.
hauteur et amplitude du remou,	Stauhöhe und Stauweite,	hight and amplitude of swell.
hélices,	Schraubenlinie,	helix.
hélices (propeller),	Schraubenräder,	screws.
jaugeage,	Aichen,	gauging.
jet d'eau,	springender Wasserstrahl,	jet of water.
inclinaison,	Schraubensteigung,	inclination.
ingénieur,	Ingenieur,	engineer.
laiton (cuivre jaune),	Messing,	brass.
lap,	Ueberdeckung (am Schieber),	recouvrement.
levier droit,	gerader Hebel,	straight lever.
— courbé,	Winkelhebel,	bent lever.
bras de levier,	Hebelarm,	arms of lever.
liens,	Bänder (Streben),	lies (links).

machine,	Maschine,	machine (engine).
machine à curer,	Baggermaschine,	dredging machine.
machine à colonne d'eau,	Wassersäulenmaschine,	pressure-engine.
mach. à élever de l'eau,	Wasserhebungsmaschine,	water-work.
manchon,	Kuppelhülse (=Muffe),	coupling-box.
manivelle,	Kurbel (Krummzapfen,	crank (winch).
manomètre,	Manometer,	manometer.
marqueurs,	Aichpfähle (Pegel).	markers.
mécanique,	Mechanik,	mechanics.
— des corps solides,	— fester Körper,	— of rigid bodies.
— des fluides (hydraulique),	— flüssiger Körper (Hydraulik),	— of fluids (hydraulic).
— des fl. aëriformes,	— luftförmiger Körper,	— of elastic fluids.
minium	Mennige,	red-lead.
moteur,	Motor.	motor.
moufles,	Rollenzüge (Flaschenzüge),	tackles of pulleys.
moulinet de Woltmann,	Woltmann'scher Flügel,	sail wheel of Woltmann.
mouton,	Rammklotz (=Bär),	battering-ram.
moyeu,	Nabe,	nave.
nervures (languettes),	Federn (Rippen an Wellen),	feathers (fillets).
niveau d'eau,	Wasserstand,	water-level.
noyau,	Schraubenspindel,	male screw.
opérateur (outil),	Arbeitsmaschine,	operator.
ouverture (rainure),	Oeffnung (Falz),	aperture.
palettes,	Schaufeln, (Wasserrad),	floats or paddles.
palplanche,	Bohlenwerk,	walling timber.
parallélogramme,	Parallelogramm,	parallel motion.
pas de la vis,	Schraubengang,	pitch of the screw.
pied,	Fuß,	foot.
pilotis (pieu),	Pfahl,	pile.
piston,	Pumpenkolben,	piston (plug).
pivot,	stehender Zapfen,	pivot.
plomb,	Blei,	lead.
poids.	Gewicht,	wight.
pompe,	Pumpe,	pump.
pompe à air,	Luftpumpe,	air pump.
pompe alimentaire,	Speisepumpe,	feed pump.
pompe aspirante,	Saugepumpe,	suction pump.
pomperie,	Wasserkunst (Pumpwerk),	pump work (water work)
pompe foulante,	Druckpumpe,	forcing pump.
pompe soulevant,	Hubpumpe,	lifting pump.
portes d'écluse,	Schleusenthore,	lock-gates.
poteau busqué,	Anschlagsäule,	mitre-post.
poteau tourillon,	Wendesäule,	heel-post.
poteaux (piliers),	Säulen,	posts.
pouce,	Zoll,	inch.
pouce carré,	Quadratzoll,	square inch.
pouce d'eau,	Wasser- oder Brunnenzoll,	water inch.
poulie,	Rolle, Riemscheibe,	pulley.
poulie fixe et folle,	feste u. lose Riemscheibe,	fast and loose pulley.
— de renvoi,	Leitrolle,	guide pulley.
poutre (solive),	Balken (Schwelle),	beam (joist).
pression,	Druck,	pressure.
puits,	Brunnen,	well.
rainure,	Nuthe (Keilnuth),	key bed.
rayon de courbure,	Krümmungshalbmesser,	radius of curvature.
rebord,	Rand (Kragen, Flantsche),	flange.
rebords saillants,	Knaggen,	stars.
récepteur,	Kraftmaschine,	receiver.
régulateur,	Steuerung (Regulator),	regulator.
remont,	Steigung,	ascent.
remou,	Stauung.	swell.
reservoirs,	Speisebassins,	feeders.
resistance de traction.	absolute Festigkeit,	strength of extension.
— — torsion,	drehende —	— — torsion.
— — flexion,	relative —	— — flexure.
— — compression,	rückwirkende —	— — compression.
revetment,	Futtermauer,	retaining wall.
rigoles,	Speisegräben,	feeding-trenches.
rivet,	Niete,	rivet.
robinet,	Hahn,	cock.
rouage,	Räderwerk,	wheel-work.
rouages à courroies,	Riemen- oder Schnurräderwerke,	straped wheel works.
— — couronne,	Kronen- oder Kammräder,	crown wheels.
roue,	Rad,	wheel.

roue à piston,	Kolbenrad (Kettenbrunnenpumpe),	chain of buckets.
roue à rochet,	Sperrrad,	ratched wheels.
roue à vent,	Windrad,	wind wheel.
roue conduite,	Getriebe (Rad),	follower.
roue conique,	konisches Rad,	beveled geer.
roues plates ou cylindriques,	cylindr. od. Stirnräder,	cylindrical wheels (spur wheels).
roue en coeur,	Herzscheiben,	heart-wheel.
roues à aubes,	Schaufelräder,	wheels with floats.
— — augets,	Zellenräder,	— — buckets.
— à palettes,	Ruederäder,	flash-wheels.
— à pales,	Schaufelräder,	paddle-wheels.
roues coniques ou d'angle,	konische oder Winkelräder,	conical wheels.
roue droite,	Stirnrad,	star-wheel.
roues élévatoirs à godets,	Schöpfräder,	wheels to draw-up water.
— hyperboliques,	Hyperboloidenräder,	hyperbolical wheels (skew-bevils).
— hydrauliques,	Wasserräder,	water-wheels.
— — en dessus,	oberschlägige Wasserräder,	overshot water wheels.
— — par derrière,	rückenschlägige —	back-shot water wheels.
— — de coté,	mittelschlägige —	middle shot water wheels.
— — en dessous,	unterschlägige —	undershot w. w.
— pendants,	Schiffmühlenräder,	ship mills wheels.
roue sur l'arbre,	Radwelle,	wheel and axle.
rouleau de tension,	Spannrolle,	expanding roller.
sas,	Schleusenkammer,	chamber.
siphon,	Heber,	siphon.
sonnette,	Ramme,	pile engine.
soupape,	Ventil,	valve.
spire,	Schraubenwindung.	spice.
support,	Support,	pilar.
surfase,	Oberfläche,	area.
talus naturel,	Böschung, natürliche,	natural slope.
tambour,	Scheibe, Trommel,	drum.
tenon et mortaise,	Zapfen- und Zapfenloch,	tenon and mortise.
tirans (maîtresses tiges des pompes),	Kunstgestänge,	main rods of pumps.
tiroir,	Schieber (Schubventil),	slide valve.
tôle,	Blech.	sheet-iron.
tôle en fer,	Schwarzblech,	sheet (hoop iron).
tourillon,	liegender Zapfen,	axle (gudgeon).
tourillon,	Knebelzapfen,	crank pin.
tournevis,	Schraubenzieher,	screw driver.
traction,	Zug,	traction.
transmission,	Triebwerk,	geering.
travail mécanique,	Arbeit (Leistung einer Kraft),	work done (labouring force).
traverse,	Querschwelle,	sleeper.
tringle,	Hängestange (-Schiene),	strop (link).
turbine,	Turbine,	turbin
tuyeaux,	Pumpenröhren,	pipes (tubes).
tuyeau additionel,	kurze Aufsatzröhre,	shunt pipe.
tuyeau d'ascension,	Steigeröhre,	rising-pipe.
tuyeau d'aspiration,	Saugeröhre,	suction pipe.
tuyeau de chute,	Einfallröhre,	pipe of fall.
tuyeaux de conduits,	Röhrenleitungen,	conduits (pipes).
valve,	Deckklappe (Drosselventil),	throttle-valve.
vanne,	Schütze,	sluice (shud).
vanne,	Spannschütze,	penstock (shuttle).
veine (courant de fluit),	Wasserstrahl,	stream of the fluid.
ventouses,	Luftständer (Luftröhren),	wind pipes.
vis,	Schraube,	screw.
vis differentielle,	Differentialschraube,	differential screw.
vis sans fin,	Schraube ohne Ende,	endless screw.
volant,	Schwungrad.	fly-wheel.
volant à ailettes,	Windfang (Flügelrad),	fly.
zinc,	Zink,	zinc.

III.

Englisch.	Deutsch.	Französisch.
air-pump.	Luftpumpe,	pompe à air.
annealed cast iron,	schmiedbarer Eisenguß,	fonte malléable.
aperture,	Oeffnung (Falz),	ouverture (rainure).
area,	Oberfläche,	surface.
arm,	Arm (an Rädern),	bras.
arms of lever,	Hebelarm,	bras du levier.
ascent,	Steigung,	remont.
axle (gaudgeon),	liegender Zapfen,	tourillon
ball,	Kugel,	boulet.
band (scrap),	Riemen,	courroie.
barometer,	Barometer,	baromètre.
bar (weir),	Wehr,	barrage.
batering-ram,	Rammklotz,	mouton.
beam,	Waagebalken,	fléau.
beam,	Balancier,	balancier.
beam (joist).	Schwelle (Balken),	poutre (solive).
bent lever,	Winkelhebel,	courbe.
beveled geer,	konisches Zahnrad,	roue conique.
block,	Rollengehäuse (-Lager),	chape.
bottom of the channel,	Grundbette (Sohle),	font du lit.
brass.	Messing,	laiton (cuivre jaune).
brasses (pillows),	Pfannen (Lager),	coussinets.
break,	Bremse,	frein.
bridle-rod,	Lenker,	contrebalancier.
builder,	Architekt (Baumeister),	constructeur (architecte).
cable (rope cord),	Seil,	cable (corde).
cable of hemp (corde, rop),	Hanfseil,	corde.
cable of iron wire,	Eisendrahtseil,	corde en fils de fer.
cam (tappet),	Daumen,	came.
cast iron,	Gußeisen,	fonte (crue).
foundry iron,	Gußeisen,	— moulée.
cement (lote),	Kitt,	ciment (lut).
centre of gravity,	Schwerpunkt,	centre de gravité.
channel,	Wassergerinne,	anges (rigoles).
circular channel,	Kropfgerinne,	circulaire.
circle of curvature,	Krümmungskreis,	cercle osculateur.
cock,	Hahn,	robinet.
common balance,	gewöhnliche Waage,	balance ordinaire.
compasses,	Zirkel,	compas.
conduits (pipes),	Röhrenleitungen,	tuyeaux de conduits.
conduit of water,	Wasserleitung,	conduite d'eau.
copper,	Kupfer,	cuivre.
countre poises,	Gegengewichte,	contrepoids.
coupling box,	Kuppelhülse,	manchon.
coupling (clutch),	Kuppelung,	accouplement.
crank (winch),	Kurbel (Krummzapfen),	manivelle.
crank-pin,	Kurbelzapfen,	tourillon.
dam (embanement),	Damm,	digue (remblai).
dead pace,	schädlicher Raum.,	espace noisible.
density,	Dichtigkeit,	densité.

deversoir (overfall),	Ueberfall (bei Wasserwerken),	deverseir.
discharge,	Wassermenge,	depense.
disengaging apparatus,	Aus- und Einrückung,	débrayage.
ditches,	Wassergräben,	fosses.
dredging machine,	Baggermaschine,	machine à eurer.
drums,	Trommeln (Scheiben),	tamhours.
— conical drums,	konische Trommeln,	cônes tronqués.
dynamometer,	Dynamometer,	dynamomètre.
dynamemetrical break.	Bremsdynamometer,	frein dynamemètrique.
eagaging and disengaging machinery,	Ein- u. Ausrückung,	embrayage (medificateur).
engineer,	Ingenieur,	ingénieur.
equilibrium indifferent,	indifferentes Gleichgewicht,	équilibre indifferent.
— unstable,	labiles —	— instable.
— stable,	stabiles —	— stable.
expanding roller,	Spannrolle,	reuleau de tension.
fall,	Gefälle,	chute.
feathers (filiets),	Federn (Rippen an Wellen),	nervures (languettes).
feeders,	Speisebassins,	reservoirs.
feeding,	Speisung,	alimentation.
feed-pump,	Speisepumpe,	pompe alimentaire.
flange,	Rand (Kragen, Flantsche),	rebord.
floating-bedy,	Schwimmer,	flotteur.
floats or paddles,	Schaufeln (Wasserrad),	palettes.
fly,	Windfang (Flügelrad),	volant à allettes.
fly-wheel,	Schwungrad,	volant.
foet step,	Spurlager,	erapaudine.
feree pump,	Druckpumpe,	pempe feulante.
frictien ef sliding,	gleitende Reibung,	frottement de glissement.
— — relling,	rollende Reibung,	— de reulement.
— -roller,	Friktionsrolle,	galet.
gauging,	Aichen (Drahtlehre),	jaugeage (jauge).
geering,	Triebwerk,	transmissien.
gin,	Bock (Gestell),	chèvre.
groove,	Rinne (Spur),	gerge.
guide pulley,	Leitrolle,	poulie de renvei.
half-fluid,	lockere Masse,	demi-fluid.
heel-pest,	Wendesäule,	poteau tourillon.
heigt of water,	Druckhöhe,	charge d'eau.
hight and amplitude ef swell,	Stauhöhe u. Stauweite,	hauteur et amplitude du remou.
hoep-iron,	Bandeisen,	feuillard.
herse-pewer,	Pferdestärke,	cheval-vapeur.
— ram,	hydraulischer Widder,	bélier hydraulique.
jet ef water,	springender Wasserstrahl,	jet d'eau.
impact (eollisien, pereussien),	Stoß,	choc (percussion).
inch,	Zoll,	pence.
inelination,	Schraubensteigung,	inclinaisen.
iren,	Eisen,	fer.
— -wire,	Eisendraht,	fil de fer.
key (wedge),	Keil,	clef (clavette, coin).
key-bed.	Nuthe (Keilnuth),	rainure.
lead,	Blei,	plomb.
leather,	Leder,	cuir.
leathering (packing),	Lederung,	garniture.
lime,	Kalk,	chaux.
lock-gates,	Schleusenthore,	portes d'écluse.
machine (engine),	Maschine,	machine.
main reds ef pumps,	Kunstgestänge,	tirans (maitresses tiges des pompes).
manemeter,	Manometer,	manomètre.
markers,	Aichpfähle (Pegel),	marqueurs,
mechanics,	Mechanik.	mécanique.
— ef elastic fluids,	— luftförmiger Körp.	— des fluids aërifarmes.
— of fluids (hydraulic),	— flüssiger Körper, (Hydraulik),	— des fluids (hydraulique.)

mechanics of rigid bodies,	Mechanik, fester Körper,	mécaniquo, des corps solides.
moderator,	Moderator,	modérateur.
motor,	Motor,	moteur.
moving water,	Aufschlagwasser,	eau motrice.
nail,	Nagel,	clou.
natural slope,	natürliche Böschung,	talus naturel.
nave,	Nabe,	moyeu.
oil-cup,	Schmierbüchse,	boite à huile.
operator,	Arbeitsmaschine,	opérateur (outil).
paddle wheels,	Schaufelräder,	roues à pales.
parallel-motion,	Parallelogramm,	parallélogramme.
penstock (shuttle),	Spannschütze,	vanne.
pig or cast iron,	Roheisen,	fonte.
pilar,	Support,	support.
pile,	Pfahl,	pilotis (pieu).
pile engine,	Ramme,	sonnette.
pin (bolt),	Bolzen (Pflock),	boulon.
pin,	Warze am Krummzapfen,	bouton.
pin,	Vorstecknagel (-stift),	goujon.
pipes (tubes),	Pumpenröhren,	tuyeaux.
pipe of fall,	Einfallröhre,	tuyeaux de chute.
pitch circle,	Theilkreis,	cercle primitif.
pivot,	stehender Zapfen,	pivot.
plumber block,	Zapfenlager,	coussinet.
posts,	Säulen,	poteaux (piliers).
power,	Kraft,	force.
pressure,	Druck,	pression.
principal cylinder,	Treibcylinder,	cyl. principal.
pulley,	Rolle, Riemscheibe,	poulie.
— fast and loose pulley,	feste u. lose Riemscheibe,	poulie fixe et folle.
pump,	Pumpe,	pompe.
— forcing pump,	Druckpumpe,	— foulante.
— lifting pump,	Hubpumpe,	pompe soulevant.
— suction pump,	Saugepumpe,	pompe aspirante.
pump-work (water-work),	Wasserkunst (Pumpwerk),	pumperie.
radius of curvature,	Krümmungshalbmesser,	rayon de courbure.
receiver,	Kraftmaschine,	récepteur.
recouvrement,	Ueberdeckung (am Schieber),	lap.
red lead,	Mennige,	minium.
regulator,	Regulator (Steuerung),	régulateur.
retaining wall,	Futtermauer,	revetment.
rim (ring),	Kranz (an Rädern),	anneau (jante).
rising-pipe,	Steigeröhre,	tuyeau d'ascension.
rivet,	Niete,	rivet.
rule,	Maßstab,	échelle.
sail-wheel of Woltmann,	Woltmann'scher Flügel,	moulinet de Woltmann.
sandstone,	Sandstein,	grès.
screw,	Schraube,	vis.
—, differential screw,	Differentialschraube,	vis differentielle.
screw, pitch of the screw,	Schraubengang,	pas de la vis.
—, threads of the screw,	Schraubengewinde,	filets de vis.
—, helix,	Schraubenlinie,	hélice.
—, female screw,	Schraubenmutter,	écrou.
—, turn screw,	Schraubenschlüssel,	clef à vis.
—, male screw,	Schraubenspindel,	noyau.
—, driver,	Schraubenzieher,	tournevis.
—, endless screw,	Schraube ohne Ende,	vis sans fin.
screws,	Schraubenräder,	hélices (propeller).
shaft,	Welle,	arbre.
shed,	Schuppen,	hangar.
sheet-iron,	Blech,	tôle.
sheet (hoop iron),	Schwarzblech,	tôle en fer.
short pipe,	kurze Ansatzröhre,	tuyeau additionel.
siphon,	Heber,	siphon.
sleeper,	Querschwelle,	traverse.
slide-valve,	Schieber (Schubventil),	tiroir.
sluice (lock),	Schleuse,	écluse.
sluice (shud),	Schütze,	vanne.
spindle,	schwache Welle (Spindel),	fuseau.
spire,	Schraubenwindung,	spire.
spout,	Ausgußröhre,	gargouille.
square inche,	Quadratzoll,	pouce carré

stars,	Knaggen,	rebords saillants.
star wheel,	Stirnrad,	roue droite.
steel,	Stahl,	acier.
—, cast steel,	Gußstahl,	— fondu.
step (bearing).	Spurlager,	crapaudine.
straight lever,	gerader Hebel,	levier droit.
strait channel,	gerades Gerinne,	coursier rectiligne.
stream of the fluid,	Wasserstrahl,	veine (courant de fluit).
strength of extension,	absolute Festigkeit,	resistance de traction.
— — compression,	rückwirkende —	— — compression.
— — flexure,	relative —	— — flexion.
— — torsion,	drehende —	— — torsion.
stroke,	Hub (Hubhöhe od. Länge),	course.
structure,	Bauwerk,	construction.
struts,	Streben (Spreizen),	contrefiches.
stuffing-box,	Stopfbüchse,	boite à garniture.
suction pipe,	Saugeröhre,	tuyeau d'aspiration.
swell,	Stauung,	remou.
tackles of pulleys,	Rollenzüge (Flaschenzuge),	moufles
tenon and mortise,	Zapfen- und Zapfenloch,	tenon et mortaise.
throttle-valve,	Drehklappe (Drosselventil),	valve.
tin,	Zinn,	etain.
tin plate,	Weißblech,	fer blanc.
tow,	Werg,	étoupe.
tow,	Tau,	cable.
traction,	Zug,	traction.
turbin,	Turbine,	turbine.
valve,	Ventil,	soupape.
walling-timber,	Bohlenwerk,	palplanche.
water-inch.	Wasser- od. Brunnenzoll,	pouce d'eau.
— -level,	Wasserstand,	niveau d'eau.
— -wheels,	Wasserräder,	roues hydrauliques.
— overshot water wheels,	oberschlägige Wasserräder,	— — en dessus.
— back-shot water wheels,	rückenschlägige —	— — par derrière.
— middle shot wat. wheels (breast wh.),	mittelschlägige oder Kropfräder,	— — de coté
— undershot w. w.	unterschlägige —	— — en dessous.
— ship-mills whls.,	Schiffmühlenräder,	— pendants.
wheels with floats,	Schaufelräder,	— à aubes.
— — buckets,	Zellenräder,	— — augets.
water-work,	Wasserhebungsmaschine,	mach. à élever de l'eau.
wastwies,	Fluthgerinne (Leerläufe),	deversoirs.
well,	Brunnen,	puits.
wheels,	Räder,	roues.
— conical wheels,	konische od. Winkelräder,	roue conique.
— — cylindrical wheel,	cylindr. od. Stirnräder,	roues cylindriques.
— lantern (trundle, wallower),	Drehling,	lanterne.
— follower,	Getriebe (Rad),	roue conduite.
— hyperbolical whs. (skew-bevils),	Hyperboloidenräder,	— hyperboliques.
— crown wheels,	Kronen- od. Kammräder,	— à couronne.
— sun and planets wheels,	Planetenrad,	mouche.
— mangle wheel,	Mangelrad,	couronne dentée.
— ratched wheel,	Sperrrad,	roue à rochet.
— -work,	Räderwerk,	rouage.
— geering (tothed wheel-works,	Zahnräder,	engrenages.
— straped wheel works,	Riemen- oder Schnurräder,	rouages à courroies.
wheel and axle,	Radwelle,	roue sur l'arbre.
wight,	Gewicht,	poids.
wind pipes,	Luftständer (Luftröhren),	ventouses.
wire,	Draht,	fil.
wood,	Holz,	bois.
work done (labouring force),	Arbeitsleistung,	travail mécanique.
wrought iron,	Schmiedeeisen,	fer forgé.
zinc,	Zink	zinc.

C. Tabellen.

1. Tabelle über die Quadrate, Kuben, Quotienten, Quadrat- und Kubikwurzeln.

n	n^2	n^3	$\frac{1}{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
0,30	0,09	0,077	3,33	0,548	0,669
0,375	0,141	0,053	2,667	0,612	0,721
0,60	0,36	0,216	1,667	0,775	0,843
0,625	0,391	0,244	1,60	0,791	0,855
0,75	0,563	0,422	1,33	0,866	0,909
1,25	1,56	1,95			
1,5	2,25	3,37	0,667		
1,75	3,06	5,36			
2	4	8	0,50	1,414	1,259
2,25	5,06	11,38			
2,5	6,25	15,62	0,40		
2,75	7,56	20,79			
3	9	27	0,33	1,732	1,442
3,25	10,56	34,22			
3,5	12,25	42,87	0,286		
3,75	14,06	52,73			
4	16	64	0,25	2	1,587
4,25	18,06	76,75			
4,5	20,25	91,12	0,222		
4,75	22,56	107,16			
5	25	125	0,20	2,236	1,709
5,25	27,56	144,70			
5,5	30,25	166,37	0,182		
5,75	33,06	190,11			
6	36	216	0,167	2,449	1,817
6,25	39,06	244,13			
6,5	42,25	274,62	0,154		
6,75	45,56	307,54			
7	49	343	0,143	2,645	1,912
7,25	52,56	381,07			
7,5	56,25	421,87	0,133		
7,75	60,06	465,48			
8	64	512	0,125	2,828	2
8,25	68,06	561,50			
8,5	72,25	614,12	0,118		
8,75	76,56	669,91			
9	81	729	0,111	3	2,080
9,25	85,56	791,44			

n	n^2	n^3	$\frac{1}{n}$	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$
9,5	90,25	857,37	0,105		
9,75	95,06	926,85			
10	100	1000	0,10	3,162	2,154
10,5	110,25	1157,62			
11	121	1331	0,091	3,316	2,223
11,5	132,25	1520,87			
12	144	1728	0,083	3,464	2,289
13	169	2197	0,077	3,606	2,351
14	196	2744	0,071	3,742	2,41
15	225	3375	0,067	3,873	2,466
16	256	4096	0,063	4	2,52
18	324	5832	0,056	4,243	2,621
20	400	8000	0,05	4,472	2,714
50	2500	125000	0,02	7,071	3,684
100	10000	1000000	0,01	10	4,642

2. Tabelle über den Umfang und den Inhalt der Kreise vom Durchmesser 1 — 100.

Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$	Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$
1	3,142	0,785	$4\frac{1}{8}$	12,959	13,364
$1\frac{1}{8}$	3,534	0,994	$4\frac{1}{4}$	13,351	14,186
$1\frac{1}{4}$	3,927	1,227	$4\frac{3}{8}$	13,744	15,033
$1\frac{3}{8}$	4,320	1,484	$4\frac{1}{2}$	14,137	15,904
$1\frac{1}{2}$	4,712	1,767	$4\frac{5}{8}$	14,529	16,800
$1\frac{5}{8}$	5,105	2,073	$4\frac{3}{4}$	14,922	17,720
$1\frac{3}{4}$	5,498	2,405	$4\frac{7}{8}$	15,315	18,665
$1\frac{7}{8}$	5,891	2,761	5	15,708	19,635
2	6,283	3,141	$5\frac{1}{8}$	16,100	20,629
$2\frac{1}{8}$	6,676	3,546	$5\frac{1}{4}$	16,494	21,647
$2\frac{1}{4}$	7,069	3,976	$5\frac{3}{8}$	16,886	22,690
$2\frac{3}{8}$	7,461	4,430	$5\frac{1}{2}$	17,278	23,758
$2\frac{1}{2}$	7,854	4,908	$5\frac{5}{8}$	17,671	24,850
$2\frac{5}{8}$	8,247	5,411	$5\frac{3}{4}$	18,064	25,967
$2\frac{3}{4}$	8,639	5,939	$5\frac{7}{8}$	18,457	27,108
$2\frac{7}{8}$	9,032	6,491	6	18,849	28,274
3	9,425	7,068	$6\frac{1}{8}$	19,242	29,464
$3\frac{1}{8}$	9,818	7,669	$6\frac{1}{4}$	19,635	30,679
$3\frac{1}{4}$	10,210	8,295	$6\frac{3}{8}$	20,027	31,919
$3\frac{3}{8}$	10,602	8,946	$5\frac{1}{2}$	20,420	33,183
$3\frac{1}{2}$	10,995	9,621	$6\frac{5}{8}$	20,813	34,471
$3\frac{5}{8}$	11,388	10,320	$6\frac{3}{4}$	21,205	35,784
$3\frac{3}{4}$	11,781	11,044	$6\frac{7}{8}$	21,598	37,122
$3\frac{7}{8}$	12,173	11,793	7	21,991	38,484
4	12,566	12,566	$7\frac{1}{8}$	22,383	39,871

Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$	Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$
$7\frac{1}{4}$	22,776	41,282	16	50,265	201,06
$7\frac{3}{8}$	23,169	42,718	$16\frac{1}{4}$	51,051	207,39
$7\frac{1}{2}$	23,562	44,178	$16\frac{1}{2}$	51,836	213,82
$7\frac{5}{8}$	23,954	45,663	$17\frac{3}{4}$	52,621	220,35
$7\frac{3}{4}$	24,347	47,173	17	53,407	226,89
$7\frac{7}{8}$	24,740	48,707	$17\frac{1}{4}$	54,192	233,70
8	25,132	50,265	$17\frac{1}{2}$	54,978	240,53
$8\frac{1}{8}$	25,515	51,848	$17\frac{3}{4}$	55,763	247,45
$8\frac{1}{4}$	25,918	53,456	18	56,548	254,47
$8\frac{3}{8}$	26,310	55,088	$18\frac{1}{4}$	57,334	261,59
$8\frac{1}{2}$	26,703	56,745	$18\frac{1}{2}$	58,119	268,80
$8\frac{5}{8}$	27,096	58,426	$18\frac{3}{4}$	58,935	276,12
$8\frac{3}{4}$	27,489	60,132	19	59,690	283,53
$8\frac{7}{8}$	27,881	61,862	$19\frac{1}{4}$	60,475	291,04
9	28,274	63,617	$19\frac{1}{2}$	61,261	298,65
$9\frac{1}{8}$	28,667	65,396	$19\frac{3}{4}$	62,046	306,05
$9\frac{1}{4}$	29,059	67,200	20	62,832	314,16
$9\frac{3}{8}$	29,452	69,029	21	65,793	346,36
$9\frac{1}{2}$	29,845	70,882	22	69,115	380,13
$9\frac{5}{8}$	30,237	72,759	23	72,256	415,48
$9\frac{3}{4}$	30,630	74,662	24	75,398	452,39
$9\frac{7}{8}$	31,023	76,588	25	78,540	490,87
10	31,416	78,540	26	81,681	530,93
$10\frac{1}{4}$	32,201	82,516	27	84,823	572,57
$10\frac{1}{2}$	32,986	86,590	28	87,964	615,75
$10\frac{3}{4}$	33,772	90,762	29	91,106	660,52
11	34,557	95,033	30	94,248	706,86
$11\frac{1}{4}$	35,343	99,402	31	97,389	754,77
$11\frac{1}{2}$	36,128	103,87	32	100,53	804,25
$11\frac{3}{4}$	36,913	108,43	33	103,67	855,30
12	37,699	113,10	34	106,81	907,92
$12\frac{1}{4}$	38,484	117,86	35	109,96	962,11
$12\frac{1}{2}$	39,270	122,72	36	113,10	1017,9
$12\frac{3}{4}$	40,055	127,68	37	116,24	1075,2
13	40,848	132,73	38	119,38	1134,1
$13\frac{1}{4}$	41,626	137,89	39	122,52	1194,6
$13\frac{1}{2}$	42,411	143,14	40	125,66	1256,6
$13\frac{3}{4}$	43,197	148,49	41	128,81	1320,3
14	43,982	153,94	42	131,95	1385,4
$14\frac{1}{4}$	44,767	159,48	43	135,09	1452,2
$14\frac{1}{2}$	45,553	165,13	44	138,23	1520,5
$14\frac{3}{4}$	46,338	170,87	45	141,37	1590,4
15	47,124	176,71	46	144,51	1661,9
$15\frac{1}{4}$	47,909	182,65	47	147,66	1734,9
$15\frac{1}{2}$	48,694	188,69	48	150,80	1809,6
$15\frac{3}{4}$	49,480	194,83	49	153,94	1885,7

Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$	Durchmesser d	Umfang πd	Inhalt $\frac{\pi d^2}{4}$
50	157,08	1963,5	76	238,76	4536,5
51	160,22	2042,8	77	241,90	4656,6
52	163,36	2123,7	78	245,04	4778,4
53	166,50	2206,2	79	248,19	4901,7
54	169,65	2290,2	80	251,33	5026,6
55	172,79	2375,8	81	254,47	5153,0
56	175,93	2463,0	82	257,61	5281,0
57	179,07	2551,8	83	260,75	5410,6
58	182,21	2642,1	84	263,89	5541,8
59	185,35	2734,0	85	267,04	5674,5
60	188,50	2827,4	86	270,18	5808,8
61	191,64	2922,5	87	273,32	5944,7
62	194,78	3019,1	88	276,46	6082,1
63	197,92	3117,2	89	279,60	6221,1
64	201,06	3217,0	90	282,74	6361,7
65	204,20	3318,3	91	285,88	6503,9
66	207,35	3412,2	92	289,03	6647,6
67	210,49	3525,7	93	292,17	6792,9
68	213,63	3631,7	94	295,31	6939,8
69	216,77	3739,3	95	298,45	7088,2
70	219,91	3848,5	96	301,59	7238,2
71	223,05	3959,2	97	304,73	7389,8
72	226,19	4071,5	98	307,88	7543,0
73	229,34	4185,4	99	311,02	7697,7
74	232,49	4300,8	100	314,16	7854,0
75	235,62	4417,9			

3. Tabelle der trigonometrischen Linien.

Grad	Sin	Cos	Tg	Cotg	Grad
1	0,0175	0,9998	0,0175	57,2899	89
2	0,0349	0,9994	0,0349	28,6363	88
3	0,0523	0,9986	0,0524	19,0811	87
4	0,0698	0,9976	0,0699	14,3097	86
5	0,0872	0,9962	0,0875	11,4301	85
6	0,1045	0,9945	0,1051	9,5144	84
7	0,1219	0,9925	0,1228	8,1443	83
8	0,1392	0,9903	0,1405	7,1154	82
9	0,1564	0,9877	0,1584	6,3138	81
10	0,1736	0,9848	0,1763	5,6713	80
11	0,1908	0,9816	0,1944	5,1446	79
12	0,2079	0,9781	0,2126	4,7046	78
13	0,2250	0,9744	0,2309	4,3315	77
14	0,2419	0,9703	0,2493	4,0108	76
15	0,2588	0,9659	0,2679	3,7321	75
16	0,2766	0,9613	0,2867	3,4874	74
17	0,2924	0,9563	0,3057	3,2709	73
18	0,3090	0,9511	0,3249	3,0777	72
19	0,3256	0,9455	0,3443	2,9042	71
20	0,3420	0,9397	0,3640	2,7475	70
21	0,3584	0,9336	0,3839	2,6051	69
22	0,3746	0,9272	0,4040	2,4751	68
23	0,3907	0,9205	0,4245	2,3559	67
24	0,4067	0,9135	0,4452	2,2460	66
25	0,4226	0,9063	0,4663	2,1445	65
26	0,4384	0,8988	0,4877	2,0503	64
27	0,4540	0,8910	0,5095	1,9626	63
28	0,4695	0,8829	0,5317	1,8807	62
29	0,4848	0,8746	0,5543	1,8040	61
30	0,5000	0,8660	0,5774	1,7321	60
31	0,5150	0,8572	0,6009	1,6643	59
32	0,5299	0,8480	0,6249	1,6003	58
33	0,5446	0,8387	0,6494	1,5399	57
34	0,5592	0,8290	0,6745	1,4826	56
35	0,5736	0,8192	0,7002	1,4281	55
36	0,5878	0,8090	0,7265	1,3764	54
37	0,6018	0,7986	0,7536	1,3270	53
38	0,6157	0,7880	0,7813	1,2799	52
39	0,6293	0,7771	0,8098	1,2349	51
40	0,6428	0,7660	0,8391	1,1918	50
41	0,6561	0,7547	0,8693	1,1504	49
42	0,6691	0,7431	0,9004	1,1106	48
43	0,6820	0,7314	0,9325	1,0724	47
44	0,6947	0,7193	0,9657	1,0355	46
45	0,7071	0,7071	1,0000	1,0000	45
Grad	Sin	Cos	Tg	Cotg	Grad

Nr. 4. Vergleichungstabellen
von 12 verschiedenen Landesmaßen

a. Fuß-Tabelle.

Preußischer Fuß.	Oesterreichischer Fuß.	Baierischer Fuß.	Sächsischer Fuß.	Hannoverischer Fuß.	Würtembergischer Fuß.	Braunschweiger Fuß.	Kurhessischer Fuß.	Badenscher und Schweizer Fuß.	Englischer und Russischer Fuß.	Pariser Fuß.	Meter.
1	0,99286	1,07536	1,10828	1,07449	1,09551	1,09984	1,09091	1,04618	1,02972	0,96618	0,31385
1,00719	1	1,08309	1,11625	1,82222	1,10339	1,10775	1,09876	1,05370	1,03713	0,97313	0,31611
0,92992	0,92328	1	1,03061	0,99919	1,01874	1,02277	1,01446	0,97286	0,95756	0,89847	0,29186
0,90230	0,89586	0,97030	1	0,96951	0,98848	0,99239	0,98433	0,94397	0,92912	0,87178	0,28319
0,93067	0,92403	1,00081	1,03144	1	1,01956	1,02359	1,01528	0,97365	0,95833	0,89920	0,29209
0,91282	0,90630	0,98160	1,01165	0,98081	1	1,00395	0,99580	0,95497	0,93995	0,88194	0,28649
0,90922	0,90273	0,97774	1,00767	0,97695	0,99606	1	0,99188	0,95121	0,93625	0,87847	0,28536
0,91667	0,91012	0,98575	1,01592	0,98495	1,00422	1,00819	1	0,95900	0,94391	0,88567	0,28770
0,95586	0,94903	1,02789	1,05936	1,02706	1,04716	1,05130	1,04276	1	0,98427	0,92353	0,30000
0,97114	0,96420	1,04432	1,07629	1,04348	1,06389	1,06810	1,05942	1,01598	1	0,93829	0,30479
1,03500	1,02761	1,11300	1,14707	1,11210	1,13386	1,13834	1,12909	1,08280	1,06577	1	0,32484
3,18620	3,16345	3,42631	3,53120	3,42355	3,49052	3,50432	3,47585	3,33333	3,28090	3,07844	1

b. Quadratfuß-Tabelle.

Preußischer Q.-F.	Oesterreichischer Q.-F.	Baierischer Q.-F.	Sächsischer Q.-F.	Hannoverischer Q.-F.	Würtembergischer Q.-F.	Braunschweiger Q.-F.	Kurhessischer Q.-F.	Badenscher Q.-F.	Englischer Q.-F.	Pariser Q.-F.	Quadratmeter.
1	0,98577	1,15640	1,22828	1,15453	1,20015	1,20965	1,19008	1,09449	1,06033	0,93350	0,09850
1,01444	1	1,17309	1,24601	1,17120	1,21747	1,22712	1,20726	1,11029	1,07564	0,94698	0,09993
0,86475	0,85245	1	1,06216	0,99839	1,03783	1,04605	1,11029	0,94646	0,91692	0,80725	0,08518
0,81415	0,80256	0,94148	1	0,93996	1,97709	0,98483	0,96890	0,89107	0,86326	0,76001	0,08020
0,86615	0,85382	1,00162	1,06388	1	1,03951	1,04774	1,03079	0,94799	0,91840	0,80856	0,08532
0,83323	0,82137	0,96355	1,02344	0,96199	1	1,00972	0,99161	0,91196	0,88350	0,77783	0,08208
0,82668	0,81492	0,95598	1,01540	0,95443	0,99214	1	0,98382	0,90480	0,87656	0,77171	0,08143
0,84028	0,82832	0,97170	1,03210	0,97013	1,00846	1,01644	1	0,91968	0,89097	0,78440	0,08277
0,91367	0,90067	1,05656	1,12224	1,05486	1,09654	1,10522	1,08734	1	0,96879	0,85291	0,09000
0,94311	0,92968	1,09061	1,15840	1,08885	1,13186	1,14083	1,12237	1,03222	1	0,88039	0,09290
1,07123	1,05599	1,23877	2,31578	1,23677	1,28564	1,29582	1,27485	1,17245	1,13586	1	0,10552
10,15187	10,00739	11,73960	12,46936	11,72067	12,18372	12,28023	12,08156	11,11111	11,76430	9,47682	1

c. Kubikfuß = Tabelle.

Preußischer K.=F.	Oesterreichischer K.=F.	Baierischer K.=F.	Sächsischer K.=F.	Hannoverischer K.=F.	Würtembergischer K.=F.	Braunschweiger K.=F.	Kurhessischer K.=F.	Badenscher K.=F.	Englischer K.=F.	Pariser K.=F.	Kubikmeter
1	0,97873	1,24354	1,36128	1,24054	1,31477	1,33043	1,29827	1,14503	1,09184	0,90193	0,03092
1,02173	1	1,27057	1,39086	1,26750	1,34335	1,35934	1,32649	1,16992	1,11557	0,92154	0,03159
0,80414	0,78705	1	1,09468	0,99758	1,05728	1,06987	1,04401	0,92078	0,87801	0,72529	0,02486
0,73460	0,71898	0,91351	1	0,91130	0,96584	0,97734	0,95371	0,84114	0,80207	0,66256	0,02271
0,80610	0,78896	1,00242	1,09733	1	1,05984	1,07246	1,04654	0,92301	0,88014	0,72705	0,02492
0,76059	0,74441	0,94582	1,03537	0,94354	1	1,01191	0,98745	0,87090	0,83044	0,68600	0,02351
0,75164	0,73565	0,93470	1,00319	0,93244	0,98824	1	0,97583	0,86065	0,82067	0,67793	0,02324
0,77025	0,75387	0,95785	1,04853	0,95553	1,01271	1,02477	1	0,88197	0,84100	0,69472	0,02381
0,87334	0,85476	1,08603	1,18886	1,08341	1,14824	1,16191	1,13383	1	0,95355	0,78769	0,02700
0,91588	0,89640	1,13894	1,24677	1,13619	1,20418	1,21852	1,18907	1,04872	1	0,82607	0,02832
1,10873	1,08515	1,37875	1,50929	1,37542	1,45773	1,47508	1,43943	1,26953	1,21056	1	0,03428
32,34587	31,65785	40,22350	44,03176	40,12627	42,52752	43,03380	31,99374	37,03704	45,31658	29,17385	1

Nr. 5. Vergleichungstabelle

von 12 verschiedenen Landesgewichten.

Altes preußisches Pfd.	Oesterreichisches Pfund.	Baierisches Pfund.	Sächsisches Pfund. (Zollpfund).	Würtembergisches Pfd.	Kölnische alte Mark.	Dänisches u. norweg. Pfd.	Schwedisches Pfd.	Russisches Pfund.	Englisches Pfund.	Altfranzs. Pfd. poids du (mark.)	Kilogr.
1	0,83518	0,83520	0,93542	0,99996	2,00037	0,93672	1,09962	1,14210	1,03111	0,95548	0,46771
1,19735	1	1,00002	1,12002	1,19730	2,39514	1,12157	1,31662	1,36748	1,23460	1,14404	0,56001
1,19732	0,99998	1	1,12000	1,19728	2,39508	1,12155	1,31660	1,36746	1,23457	1,14401	0,56000
1,06904	0,89284	0,89286	1	1,06900	2,13847	1,00138	1,17553	1,22094	1,10230	1,02144	0,50000
1,00004	0,83521	0,83523	0,93546	1	2,00044	0,93675	1,09966	1,14214	1,03115	0,95551	0,46773
0,99991	0,41751	0,41752	0,46762	0,49989	1	0,46827	0,54971	0,57094	0,51546	0,47765	0,23381
1,06756	0,89160	0,89162	0,99862	1,06752	2,13551	1	1,17391	1,21925	1,10078	1,02003	0,49931
0,90941	0,75952	0,75953	0,85068	0,90937	1,81915	0,85186	1	1,03863	0,93770	0,86892	0,42534
0,87558	0,73127	0,73129	0,81904	0,88555	1,75149	0,82017	0,96281	1	0,90283	0,83660	0,40952
0,96982	0,80998	0,81000	0,90720	0,96979	1,94001	0,90845	1,06644	1,10763	1	0,92664	0,45360
1,04660	0,87410	0,87412	0,97901	1,04656	2,09359	0,98037	1,15086	1,19532	1,07916	1	0,48951
2,13807	1,78568	1,78571	2,00000	2,13800	4,27693	2,00277	2,35106	2,44188	2,20460	2,04288	1

Druck von B. F. Voigt in Weimar.